



Daniel Aveiro do Carmo

Licenciatura em Engenharia Química e Bioquímica

Moldação de Rolhas Técnicas de Cortiça: Redução de Variabilidade e Comparação com o Processo de Extrusão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Micael Dinis, Eng. Processo, Amorim&Irmãos S.A./UI-
Equipar

Co-orientador: Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Professor Doutor José Paulo Barbosa Mota, Faculdade de
Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Engenheiro Paulo Fernando da Silva Gil, Amorim&Irmãos,
S.A.

Vogal: Engenheiro Micael Filipe de Sousa Dinis, Amorim&Irmãos,
S.A.



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2017

Moldação de Rolhas Técnicas de Cortiça: Redução de Variabilidade e Comparação com o Processo de Extrusão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Micael Dinis, Eng. Processo, Amorim&Irmãos/UI-Equipar

Co-orientador: Mário Eusébio, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Setembro 2017

Moldação de rolhas Técnicas de Cortiça: Redução de Variabilidade e Comparação com o Processo de Extrusão

Copyright © Daniel Aveiro do Carmo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Dedico esta dissertação aos meus pais, Fátima Aveiro e Gentil Carmo.

Devo-lhes tudo.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas e entidades que tornaram possível o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Grupo Amorim, em particular à Unidade Industrial Equipar, por me terem concebido esta oportunidade.

Ao meu orientador na empresa, Micael Dinis, pela excelente orientação e apoio. Pela disponibilidade, partilha de ideias e perspetivas e porque me incentivou sempre a fazer melhor.

Ao meu orientador na faculdade, o Professor Mário Eusébio, pela constante disponibilidade para ouvir e ajudar. Pelo seu interesse, pelo sentido crítico e pela experiência transmitida.

Agradeço à Eng^a. Maria Cortez pelos desafios lançados e pelo incentivo no decorrer do projeto.

À equipa do laboratório da UI-Equipar pelo acolhimento, boa disposição e pelas histórias partilhadas. Um agradecimento especial à Anabela Rodrigues, Amélia Benito, Edite Lino, Marina Neves e Cidália Caetano, Mário Martins, Susana Castanhas, Sara Júlio e Bruno Soares.

Gostaria de agradecer a todos os colaboradores da UI-Equipar, de todas as secções, pelo companheirismo, simpatia e porque se mostraram sempre disponíveis para ajudar.

Um obrigado aos colaboradores da UI-De Sousa pela disponibilidade e pela partilha de ideias.

Aos meus amigos pelo incentivo e por tudo o resto.

À minha família, o meu maior desejo é poder retribuir todo o apoio e esforço.

Muito obrigado!

Resumo

Portugal destaca-se como líder mundial na produção e comercialização de cortiça. O Grupo Amorim é o principal responsável desta notoriedade, aplicando uma política de melhoria contínua dos seus produtos e processos. As aplicações de cortiça de maior valor são a rolha natural e a rolha técnica.

A presente dissertação foi desenvolvida na Unidade Industrial Equipar, responsável pela produção de rolhas técnicas de cortiça. O crescimento de mercado e da procura deste tipo de rolhas motiva a necessidade de redução do consumo específico de matéria-prima, de diminuição de produtos não conformes e de melhoria da sua qualidade, principais objetivos da empresa.

As rolhas técnicas são produzidas através da aglomeração de granulado de cortiça, etapa do processo com maior influência na conformidade e qualidade das rolhas.

Ao longo da dissertação foi realizada uma caracterização e comparação dos processos de aglomeração: Extrusão e Moldação.

O processo de Moldação foi estudado em maior detalhe. Foi identificada a necessidade de redução de variabilidade do processo com vista ao alcance dos objetivos da empresa

Através do estudo do fenómeno de retração foi averiguada uma velocidade e variabilidade de retração superiores nos tempos iniciais e o aumento de retração com o aumento de temperatura. Com o estudo da variabilidade de massa foi possível reduzir a variabilidade de dimensões dos corpos e diminuir o desperdício de mistura, resultando num ganho de cerca de quinze mil euros por ano à empresa. Do estudo da humidade de granulado foi aferido que, com a adição de água, os corpos apresentam maior expansão e humidade e menor retração e absorção. A temperatura de reação foi caracterizada por zona da moldadora, sendo provada a variabilidade introduzida pela condição operatória Temperatura de Forno Frio. O estudo do Tempo de Residência permitiu expor as desvantagens das paragens da moldadora (diminuição de produção, aumento de variabilidade e aumento de produtos não conformes) e a diminuição de expansão com o aumento do tempo de permanência dos corpos nos moldes. Mediante a realização de cada estudo foram apresentadas sugestões com vista à melhoria de performance do processo.

Palavras-chave: Cortiça, Aglomeração, Moldação, Variabilidade, Melhoria, Extrusão, Amorim.

Abstract

Portugal stands as the world leader in the production and commercialization of cork. Grupo Amorim is the main responsible for this achievement, applying a policy of continuous improvement of its products and processes. The most lucrative cork applications are the natural cork stopper and the technical cork stopper.

The present dissertation was developed in Unidade Industrial Equipar, part of Grupo Amorim and responsible for the production of technical cork stoppers. The growth of market and demand of this type of cork stoppers motivates the need to reduce the consumption of raw material, to reduce the production of non/compliant products and to improve its quality, main goals of the company.

Technical cork stoppers are produced through the agglomeration of cork granulate, this is the step of the process most influent in the conformity and quality of the cork stoppers.

Throughout the study it was made a characterization and comparison of the processes of agglomeration: Extrusion and Molding.

The process of Molding was studied in more detail. It was identified the need to reduce the variability of the process, in order to achieve the main goals of the company.

Through the study of the retraction phenomenon a superior speed and variability of retraction in the initial times and the increase of retraction with the increase in temperature were ascertained. With the study of mass variability, it was possible to reduce the variability of cork stoppers bodies dimensions and to reduce the waste of cork granulate, resulting in a gain of about fifteen thousand euros per year to the company. From the study of the moisture of granulate was verified that, with the addition of water, the cork stoppers bodies presented greater expansion and humidity and less retraction and absorption. The reaction temperature was characterized by the zone of the molder, being proved the variability introduced by the operative condition Cold Oven Temperature. The Study of the Residual Time allowed to expose the disadvantages of the stops of the molder stops (decrease of production, increase of variability and increase of nonconforming products) and the diminution of expansion with the increase of the time of permanence of the bodies in the molds. Through the accomplishment of each study suggestions were presented with the purpose of improving the performance of the process.

Key words: Cork, Agglomeration, Molding, Variability, Improvement, Extrusion, Amorim.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura da Dissertação	3
2	Caso de Estudo	5
2.1	Sector da Cortiça	5
2.2	Corticeira Amorim	6
2.3	UI-Equipar	7
2.3.1	Produtos	9
2.3.2	Etapas do processo	11
3	Estado de Arte	19
3.1	O Sobreiro	19
3.1.1	Montado	19
3.1.2	Descortiçamento	20
3.2	A Cortiça	20
3.2.1	Composição Química	21
3.2.2	Qualidade da Cortiça	22
3.3	Reação de Aglomeração	23
3.3.1	Poliuretanos	23
3.3.2	Pré-polímeros de Poliuretano	23
3.3.3	Reatividade de Isocianatos	24
3.3.4	Reação com água	25
4	Fundamentos de Qualidade	27
4.1	Brainstorming	27
4.2	Metodologia Ishikawa	27
4.3	Melhoria Contínua- <i>Standard Work</i>	29
4.4	Histograma	30
4.5	Inferência Estatística: Teste de Hipóteses	31
4.5.1	Comparação de duas Variâncias	32
4.5.2	Diferença de duas Médias	32
4.5.3	ANOVA – Diferença de três ou mais médias	33
5	Caracterização e Comparação dos Processos de Moldação e Extrusão	35
5.1	Comparação – Matéria-Prima	35

5.1.1	Humidade do granulado	36
5.1.2	Massa Volúmica do granulado	37
5.2	Extrusão	38
5.2.1	Descrição do Processo	39
5.2.2	Condições Operatórias	41
5.2.3	Controlo de Processo	42
5.3	Moldação	44
5.3.1	Descrição do Processo	44
5.3.2	Condições Operatórias	47
5.3.3	Controlo de Processo	49
5.3.4	Tempos de Processo	50
5.3.5	Indicadores de Produção	53
5.4	Comparação – Respostas dos corpos	54
5.4.1	Defeitos	54
5.4.2	Absorção	56
6	Materiais e Métodos	59
6.1	Medição de Características do Granulado	59
6.1.1	Massa Volúmica	59
6.1.2	Humidade	60
6.2	Medição de Características das Rolhas	60
6.2.1	Aparelho de Medição <i>MedCork</i>	61
6.2.2	Absorção em Água	61
6.3	Análise Estatística	63
6.4	Estudo do Comportamento dos corpos após Extração	63
6.4.1	Retração dos Corpos após Extração	63
6.4.2	Influência da Temperatura Ambiente na Retração	64
6.4.3	Análise da Variação de Massa Volúmica ao longo das etapas do Processo	65
6.5	Estudo da Variabilidade de Massa	66
6.6	Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado ..	67
6.7	Estudo da Variável Temperatura de Reação	68
6.7.1	Caracterização das Temperaturas de Reação	68
6.7.2	Análise de Variabilidade da Temperatura de Reação	69
6.7.3	Estudo da Condição Operatória Temperatura de Forno Frio	70
6.8	Estudo da Variável Tempo de Residência	71
7	Apresentação e Discussão de Resultados	73
7.1	Estudo do Comportamento dos corpos após Extração	73

7.1.1	Retração dos Corpos após Extração	73
7.1.2	Influência da Temperatura Ambiente na Retração	80
7.1.3	Análise da Variação de Massa Volúmica ao longo das etapas do Processo	84
7.2	Estudo da Variabilidade de Massa	90
7.3	Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado..	95
7.4	Estudo da Variável Temperatura de Reação.....	104
7.4.1	Caracterização das Temperaturas de Reação	104
7.4.2	Análise de Variabilidade da Temperatura de Reação	106
7.4.3	Estudo da Condição Operatória Temperatura de Forno Frio	109
7.5	Estudo da Variável Tempo de Residência	114
7.5.1	Paragem de 1 minuto (Troca de Cestos)	115
7.5.2	Paragem de 5 minutos (Limpeza do Forno Frio)	117
7.5.3	Análise de Variabilidade da condição operatória Tempo de Ciclo	123
8	Conclusões	125
9	Sugestões de Trabalho Futuro	129
10	Bibliografia	131
ANEXO A		135
ANEXO B		140
B 1-Estudo do Comportamento dos Corpos após Extração		140
B 2-Estudo da Variabilidade de Massa.....		144
B 3-Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado....		145
B 4-Estudo da Variável Temperatura da Reação.....		148
B 5-Estudo da Variável Tempo de Residência		150

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Quantidade de Rolhas Técnicas vendidas pelas Unidades Industriais da Corticeira Amorim entre 2014 e 2016. Fonte: Apresentação interna de resultados: fecho de 2016.	1
Figura 2.1 - Balança Comercial do Sector da Cortiça, milhões de euros por ano (APCOR, 2016).	5
Figura 2.2 - Organograma da Corticeira Amorim (Amorim, 2016).	6
Figura 2.3 - Fotografia da UI-Equipar no ano de 1997.	7
Figura 2.4 - Layout da Unidade Industrial-Equipar.	8
Figura 2.5 - Tanque de Cozedura (viveiro) de aparas de cortiça.	11
Figura 2.6 - Equipamentos utilizados na Trituração. À esquerda: MDT, à direita: Mesa Densimétrica.	12
Figura 2.7 - À esquerda: Grupos ROSA® Hard. À direita: ROSA® HITEC.	12
Figura 2.8 - Etapa de retificação. Da esquerda para a direita: Ponçamento, Topejamento e Chanframento.	13
Figura 2.9 - Máquinas de Lavação da fábrica AGLO.	14
Figura 2.10 - Máquina Escolha Electrónica.	14
Figura 2.11 - Máquina de Marcação a fogo (esquerda) e a tinta (direita).	15
Figura 2.12 - Máquinas de Tratamento da Secção EQD.	15
Figura 2.13 - Contagem e Embalamento de rolhas semiacabadas.	16
Figura 2.14 - Fluxograma da Unidade Industrial – Equipar.	17
Figura 3.1 - Distribuição da Área de Montado de Sobreiro no mundo (APCOR, 2017).	20
Figura 3.2 - Reação entre um isocianato e um grupo hidroxilo formando uretano.	23
Figura 3.3 - Estrutura de Ressonância do Grupo Isocianato.	24
Figura 3.4 - Reação entre isocianato e amina formando ureia.	24
Figura 3.5 - Reação entre isocianato e água formando ureia e dióxido de carbono.	24
Figura 3.6 - Reação entre isocianato e grupo uretano grupo alofanato.	25
Figura 3.7 - Reação entre isocianato e ureia formando biureto.	25
Figura 3.8 - Representação dos isómeros de diisocianato de tolueno. À esquerda: 2,4-TDI, à direita: 2,6-TDI.	25
Figura 3.9 - Representação da Reação entre o grupo NCO e a água com formação de amina e libertação de dióxido de carbono.	26
Figura 3.10 - Representação da Reação entre o grupo NCO e amina com formação de poliureia.	26
Figura 4.1 - Representação de um Diagrama de Ishikawa, ou Causa-e-efeito.	28
Figura 4.2 - Exemplo de Histograma de Frequência.	31
Figura 5.1 - Métodos de armazenamento de granulado. À esquerda: Silos, à direita: big-bags.	35
Figura 5.2 - Histogramas dos valores de Humidade registados no ano de 2016.	36

Figura 5.3 - Histogramas dos valores de Massa Volúmica registados no ano de 2016.....	37
Figura 5.4 - Esquema representativo das principais entradas e saídas, bem como das variáveis e condições operatórias, do processo de Extrusão.	38
Figura 5.5 – Linhas de Extrusão da Fábrica AGLO. À direita: lado A de uma Máquina Extrusora.....	39
Figura 5.6 – Extrusão: Representação Esquemática do percurso do granulado desde o Tegão de Alimentação até ao Carrinho de Alimentação.....	40
Figura 5.7 - Representação de uma Caixa da Máquina Extrusora.....	41
Figura 5.8 - Esquema representativo das principais entradas e saídas, bem como das variáveis e condições operatórias, do processo de Moldação.....	44
Figura 5.9 – Moldadoras 1 e 2 (localizadas na Fábrica TT).....	44
Figura 5.10 – Moldação: Misturadora Superior e Misturadora Inferior situadas acima da zona de prensagem.....	46
Figura 5.11 – Moldação: Representação esquemática do percurso do granulado desde o Tegão de Alimentação até à sua inserção nos armazéns.....	46
Figura 5.12 – Moldação: Esquema representativo da do percurso efetuado pelos moldes em cada ciclo.	47
Figura 5.13 – Gráficos de pareto do número de defeitos verificados na produção de rolhas aglomeradas pelos processos de Moldação (A) e Extrusão (B).	55
Figura 5.14 - Valores de Absorção em água verificados para os processos de Moldação e Extrusão no ano de 2016 (encontram-se identificados no gráfico os dados referentes ao granulado RA sem passagem pelo sistema ROSA®)	56
Figura 5.15 – Relação entre a Absorção dos corpos de Moldação e a sua massa. Os valores de massa encontram-se agrupados.....	57
Figura 6.1 - Materiais utilizados para medição da Massa Volúmica. Da esquerda para a direita: raseira, recipiente de 1 litro e tremonha cónica de fundo amovível.....	59
Figura 6.2 - Aparelhos utilizados para medição da Humidade do granulado. À esquerda: Balança Mettler Toledo MJ33, à direita: Aquaboy.....	60
Figura 6.3 - Aparelho de medição das características das rolhas: Medcork.....	61
Figura 6.4 - Balança Analítica Kern 770.....	62
Figura 6.5 - Representação Esquemática dos Ensaios desenvolvidos para análise da Retração dos Corpos após Extração.....	63
Figura 6.6 - Representação Esquemática do Protocolo Efectuado no Estudo da Influencia da Temperatura Ambiente na Retração.....	64
Figura 6.7 - Posições dos moldes analisadas no Estudo da Variabilidade de Massa.	66
Figura 6.8 - Sonda de Temperatura IButton inserida no adaptador para programação ou extração de dados (à esquerda) e presa ao suporte e acoplada a um conjunto de moldes para recolha de dados (à direita)	69

Figura 7.1 – Ensaio 1: Velocidade de Retração do Volume em função do tempo para os três grupos amostrais (n=20 por grupo).	74
Figura 7.2 - Ensaio 2: Velocidade de Retração do Volume em função do tempo para os três grupos amostrais (n=100 por grupo).	75
Figura 7.3 - Comparação da Expansão do Comprimento e Diâmetro entre os Grupos Moldação e Extrusão (n=100 por grupo).	76
Figura 7.4 - Comparação da Retração do Comprimento e Diâmetro entre os Grupos Moldação e Extrusão (n=100 por grupo).	77
Figura 7.5 - Comparação da Ovalidade apresentada pelos corpos de Moldação e Extrusão para o tempo 24h (n=100 por grupo).	78
Figura 7.6 - Correlação entre o Comprimento e a Massa dos corpos de Moldação (A) e Extrusão (B) (n=100 por grupo).	78
Figura 7.7 - Correlações entre a Massa e a Massa Volúmica dos corpos para os processos de Moldação (A) e Extrusão (B) (n=100 por grupo).	79
Figura 7.8 - Relação entre o Comprimento inicial dos corpos e a sua respetiva Retração total. Os valores de retração do comprimento encontram-se agrupados (n=100).	79
Figura 7.9 - Retração do Comprimento dos corpos após quatro horas em condições de temperatura controladas (n=50 por grupo).	81
Figura 7.10 - Variação da Retração do Volume dos corpos de cada grupo, após estabilização nas mesmas condições do grupo Grupo Controlo, para os ensaios Turno 1 (A) e Turno 2 (B) (n=50 por grupo).	82
Figura 7.11 - Variação da Humidade dos corpos de cada grupo em função do tempo para os dois ensaios realizados (n=100 por grupo).	83
Figura 7.12 - Variação de Massa Volúmica dos corpos de Moldação de granulado RA devido ao fenómeno de retração (n=100).	84
Figura 7.13 - Variação de Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Retificação (n=300).	85
Figura 7.14 - Medição da Ovalidade dos corpos antes e após Retificação (n=300).	86
Figura 7.15 - Variação da Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Lavagem (n=50).	86
Figura 7.16 - Diferença de Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Chanframento (n=70).	87
Figura 7.17 - Análise aos dados históricos de 2016 para comparação da Massa Volúmica entre os corpos à saída do processo de Moldação e as rolhas de produto final.	88
Figura 7.18 - Análise aos dados históricos de 2016 para comparação da Massa Volúmica entre os corpos à saída do processo de Extrusão e as rolhas de produto final.	89
Figura 7.19 - Padrão de desperdício de granulado no chão junto da zona frontal da moldadora.	90
Figura 7.20 – Ensaio 1: Diferença entre as Massas de corpos recolhidos em duas posições do molde (n=100 por posição).	90

Figura 7.21 – Ensaio 1: Diferença entre o Comprimento de corpos recolhidos em duas posições do molde (n=100 por posição).....	91
Figura 7.22 - Histogramas de Frequência da distribuição de Massa (A) e de Comprimento (B) por posição do molde (n=100 por posição).	91
Figura 7.23 – Ensaio 2: Diferença entre a Massa de corpos recolhidos em duas posições do molde. O resultado do Ensaio 1 também se encontra representado. (n=100 por posição).....	92
Figura 7.24 - Ensaio 2: Diferença entre o Comprimento de corpos recolhidos em duas posições do molde. O resultado do Ensaio 1 também se encontra representado. (n=100 por posição).	93
Figura 7.25 - Histograma de Frequência da média de desperdício de granulado nos 20 dias antes e após a ação de melhoria.	94
Figura 7.26 - Medições de Humidade (A) e Massa Volúmica (B) do granulado por big-bag (n=3 por big-bag).	96
Figura 7.27 - Variação do Comprimento dos corpos de cada réplica em função do Acerto de Humidade de cada mistura (n=60 por mistura).....	97
Figura 7.28 - Variação do Comprimento dos corpos em função do Acerto de Humidade para as seis réplicas (n=360 por acerto de humidade).	97
Figura 7.29 - Variação da Retração do Comprimento dos corpos de cada réplica em função do Acerto de Humidade de cada mistura (n=60 por mistura).	98
Figura 7.30 - Variação da retração do comprimento dos corpos em função do acerto para as seis réplicas (n=360 por acerto de humidade).	99
Figura 7.31 – Variação da Humidade dos corpo, de cada réplica em função do acerto de Humidade de cada mistura para o tempo 0 horas e tempo 24 horas (n=10 por mistura).....	100
Figura 7.32 - Absorção das rolhas(38x24) de cada réplica em função do acerto (n=50 por mistura). 101	
Figura 7.33 - Variação da retração do comprimento dos corpos em função do acerto para as seis réplicas (n=250 por acerto).....	101
Figura 7.34 - Correlações entre o parâmetro de Absorção e as respostas dos corpos: Massa, Volume e Massa Volúmica. Análise efetuada para os corpos da Réplica 1, mistura com acerto +0%. (n=50). .	102
Figura 7.35 - Correlações entre o parâmetro de Absorção e as respostas dos corpos: Massa, Volume e Massa Volúmica. Análise efetuada para os corpos da Réplica 1, mistura com acerto +5%.(n=50). ..	103
Figura 7.36 - Representação do ciclo efetuado pelos moldes entre a fase de prensagem e extração. .	104
Figura 7.37 – Exemplo de um Ciclo Completo e das temperaturas experienciadas pelos corpos nas várias zonas da moldadora.Dados obtidos através da utilização da sonda IButton.	105
Figura 7.38 - Temperaturas registadas, por zona da moldadora, ao longo dos ciclos de dois dias de produção. A linha tracejada representa os set-points das temperaturas de Forno Frio e de Forno Quente.	106
Figura 7.39 - Temperaturas de reação por Zona da Moldadora para cada Turno de produção.	107

Figura 7.40 - Temperaturas registadas na fábrica TT, entre os meses de Fevereiro e Julho de 2017, em função do turno de produção.	107
Figura 7.41 – Temperaturas de reação verificadas, em 160 ciclos da moldadora, em função do set-point da Temperatura de Forno Frio (45°C e 60°C).	108
Figura 7.42 - Temperaturas de reação, por turno de produção, em função do set-point da Temperatura de Forno Frio (45°C e 60°C).	109
Figura 7.43 - Ensaio 1: Temperaturas experienciadas pelos corpos em função do set-point da Temperatura de Forno Frio (n=60 por sp FF).	110
Figura 7.44 - Ensaio 1: Expansão do Comprimento em função do set-point de Temperatura de Forno Frio (n=60 por sp FF).	111
Figura 7.45 - Retração do comprimento em função do set-point de Temperatura de Forno Frio (n=60 por sp FF).	111
Figura 7.46 – Ensaio 1: Humidade dos corpos, no tempo 24 horas, em função do set-point de Temperatura de Forno Frio (n=10 por sp FF).	112
Figura 7.47 - Absorção das rolhas (38x24) em função do set-point da Temperatura de Forno Frio... ..	113
Figura 7.48 - Representação das zonas analisadas no Estudo da Variável Tempo de Residência.	114
Figura 7.49 – Paragem de 1 minuto: Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora para cada réplica (n=20 por zona).	115
Figura 7.50 - Saída dupla da girafa de moldadora da UI-De Sousa.	117
Figura 7.51 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 1): Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora para cada réplica (n=20 por zona).	118
Figura 7.52 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 2): Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora (n=50 por zona).	119
Figura 7.53 - Paragem de 5 minutos: Resultados obtidos da análise de defeitos por zona da moldadora (n=100 por zona).	121
Figura 7.54 - Sistema de extração de granulado na zona do Forno Frio aplicada a uma moldadora da UI-De Sousa.	123
Figura 7.55 - Histograma de Frequência do Tempo de Residência verificado através dos dados da sonda IButton.	123
Figura A. 1 - Diagrama de Ishikawa: Variabilidade de dimensões dos Corpos	135
Figura A. 2 - Diagrama de Ishikawa: Topos dos Corpos Enviesados.	136
Figura A. 3 - Diagrama de Ishikawa: Defeitos de topo escasso.	137

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Tipos de Granulados produzidos na UI-Equipar.....	9
Tabela 2.2 - Principais tipos de rolhas produzidas na UI-Equipar.....	10
Tabela 3.1 - Composição Química da Cortiça.....	21
Tabela 4.1 - Resumo dos cálculos efetuados para a realização da análise ANOVA.....	34
Tabela 5.1 - Especificação de Humidade de granulado à entrada dos processos de aglomeração.....	36
Tabela 5.2 - Especificação de Massa Volúmica de granulado à entrada dos processos de aglomeração.....	37
Tabela 5.3 - Receitas utilizadas no processo de Extrusão e tempos mínimos de mistura.....	40
Tabela 5.4 - Receitas utilizadas no processo de Moldação e tempos mínimos de mistura.....	45
Tabela 5.5 - Resumo dos cálculos efetuados para determinação do Tempo de retenção na Misturadora Superior através do Tempo de mistura e do Tempo de consumo de mistura.....	51
Tabela 5.6 - Tempos de Residência dos moldes por zona da moldadora.....	52
Tabela 5.7 - Resumo dos Tempos de Processo verificados para o processo de Moldação.....	53
Tabela 5.8 - Indicadores de Produção do processo de Moldação.....	54
Tabela 6.1 - Adição de água para as quatro misturas realizada em cada ensaio.....	67
Tabela 6.2 - Ensaio realizados no Estudo da Variável Tempo de Residência.....	71
Tabela 7.1 - Grupos analisados no Estudo da Retração dos Corpos após Extração.....	73
Tabela 7.2 - Comparação da Expansão do Comprimento e Diâmetro face às condições iniciais de cada processo.....	76
Tabela 7.3 - Temperaturas registadas na fábrica TT nos dias dos ensaios realizados para o estudo da Influência da Temperatura Ambiente na Retração.....	80
Tabela 7.4 - Médias de Humidade e Massa Volúmica corrigida verificadas para cada réplica.....	96
Tabela 7.5 - Ensaio 1: Características do granulado utilizado.....	109
Tabela 7.6 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 1): Diferenças entre as médias de comprimento dos corpos de cada zona da moldadora e a média de comprimento dos corpos do respetivo grupo Controlo.....	119
Tabela 7.7 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 2): Diferenças entre as médias de comprimento dos corpos de cada zona da moldadora e a média de comprimento dos corpos do grupo Controlo.....	120
Tabela 7.8 - Paragem de 5 minutos: Comparação entre os custos das situações sem paragem da moldadora e com paragem da moldadora para Limpeza de Forno Frio para a análise de defeitos efetuada.....	121
Tabela A. 1 - Influência das variáveis e condições operatórias do processo nas respostas dos corpos produzidos. Tabela preenchida com auxilio de técnicas de Brainstorming.....	138
Tabela A. 2 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com paragem da Moldadora).....	139

Tabela A. 3 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com paragem do movimento do tapete de extração).....	139
Tabela A. 4 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com instalação de saída de girafa dupla).....	139
Tabela B. 1 - Ensaio 1: Dados do Grupo 1-Moldação RA.....	140
Tabela B. 2 - Ensaio 1: Dados do Grupo 2-Moldação RA ROSA®.....	140
Tabela B. 3 - Ensaio 1: Dados do Grupo 3-Extrusão RA.....	140
Tabela B. 4 - Ensaio 2: Variáveis de entrada do granulado e condições de mistura.....	141
Tabela B. 5 - Ensaio 2: Condições Operatórias de Moldação (Grupos 1 e 2).....	141
Tabela B. 6 - Ensaio 2: Condições Operatórias do Grupo3-Extrusão RA.....	141
Tabela B. 7 - Ensaio 2: Dados do Grupo 1- Moldação RA.....	141
Tabela B. 8 - Ensaio 2: Dados do Grupo 2- Moldação RA ROSA®.....	142
Tabela B. 9 - Ensaio 2: Dados do Grupo 3- Extrusão RA.....	142
Tabela B. 10 - Influência da Temperatura Ambiente na Retração. Dados do ensaio Turno 1.....	142
Tabela B. 11 - Influência da Temperatura Ambiente na Retração. Dados do ensaio Turno 2.....	142
Tabela B. 12 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Retificação.....	143
Tabela B. 13 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Lavação.....	143
Tabela B. 14 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Chanfro.....	143
Tabela B. 15 - Estudo da Variabilidade de Massa: Dados Antes de Ação de Melhoria.....	144
Tabela B. 16 - Estudo da Variabilidade de Massa: Dados Após Ação de Melhoria.....	144
Tabela B. 17 - Estudo da Humidade. Condições Operatórias de Moldação.....	145
Tabela B. 18 – Estudo da Humidade. Dados da caracterização dos big-bags. Medições de Humidade e Massa Volúmica.....	145
Tabela B. 19 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 1.....	146
Tabela B. 20 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 2.....	146
Tabela B. 21 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 3.....	146
Tabela B. 22 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 4.....	147
Tabela B. 23 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 5.....	147
Tabela B. 24 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 6.....	147
Tabela B. 25 - Estudo da Temperatura de Reação. Dados do ciclo da moldadora.....	148
Tabela B. 26 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Condições Operatórias de Moldação.....	149
Tabela B. 27 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Caracterização do big-bag. Medições de Humidade e Massa Volúmica.....	149
Tabela B. 28 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Dados para os dois set-points testados...	149
Tabela B. 29 - Paragem de 1 minuto. Dados da réplica 1.....	150
Tabela B. 30 - Paragem de 1 minuto. Dados da Réplica 2.....	150
Tabela B. 31 - Paragem de 1 minuto. Dados da Réplica 3.....	150

Tabela B. 32 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 1.	151
Tabela B. 33 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 2..	151
Tabela B. 34 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 3.	152

Lista de Abreviaturas

AD	Alta Densidade
ADT	Alta Densidade Terras
AGLO	Aglomerada
Ampl	Amplitude
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
BD	Baixa Densidade
CA	Corticeira Amorim
C.E.	Liège - Confederação Europeia da Cortiça
CIPR	Código Internacional das Práticas Rolheiras
D	Diâmetro
Dp	Desvio Padrão
EXT	Extrusão
EQD	Equipar Distribuição
FF	Forno Frio
FQ	Forno Quente
gl	graus de liberdade
H	Humidade
IC	Intervalo de Confiança
I&D	Investigação e Desenvolvimento
L	Comprimento
UI	Unidade Industrial
UN	Unidade de Negócio
RA	Rolha Aglomerada
RCT	Rolha Champagne Técnica
RN	Rolha Neutrocork
MD	Média Densidade
MDT	Moinho de Trituração
MLD	Moldação
MDI	difenilmetano diisocianato
MV	Massa Volúmica
M	massa
ROSA®	<i>Rate of optimal steam adjustment</i>
SSB	<i>Between Sum of Squares</i>
SST	<i>Total Sum of Squares</i>
SSW	<i>Within Sum of Squares</i>

TCA	2, 4, 6-Tricloroanisol
TDI	Diisocianato de Tolueno
TMAC	Taxa média anual de crescimento
TT	<i>Twin-Top</i>

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

Portugal é o exemplo a seguir no Sector da Cortiça. Além de ser líder na produção e comercialização de produtos de cortiça é também sinónimo de excelência no que diz respeito à sua qualidade.

A Corticeira Amorim (CA) apresenta-se como principal responsável desta notoriedade. É uma empresa determinada em potenciar as qualidades da cortiça através da constante aposta em novos mercados e aplicações, garantindo sempre a satisfação dos seus clientes (Amorim, 2017).

A Unidade de Negócio Rolha mantém-se desde o início como principal alavanca da empresa. Em 2016 a CA vendeu cerca de 4,4 mil milhões de rolhas (423 milhões de euros) representando um aumento de 7,6% do volume de vendas face ao ano anterior (Amorim, 2016). A CA produz dois tipos de rolhas: rolhas naturais de cortiça, provenientes da brocagem de pranchas de cortiça, e rolhas técnicas de cortiça, obtidas através da aglomeração de granulado de cortiça.

O presente estudo foi realizado na Unidade Industrial – Equipar, responsável pela produção de (uma percentagem de) rolhas técnicas de cortiça. A Figura 1.1 evidencia o crescimento de mercado deste tipo de rolhas através da evolução do número de rolhas vendidas por ano bem como de projeções existentes para o ano de 2020.

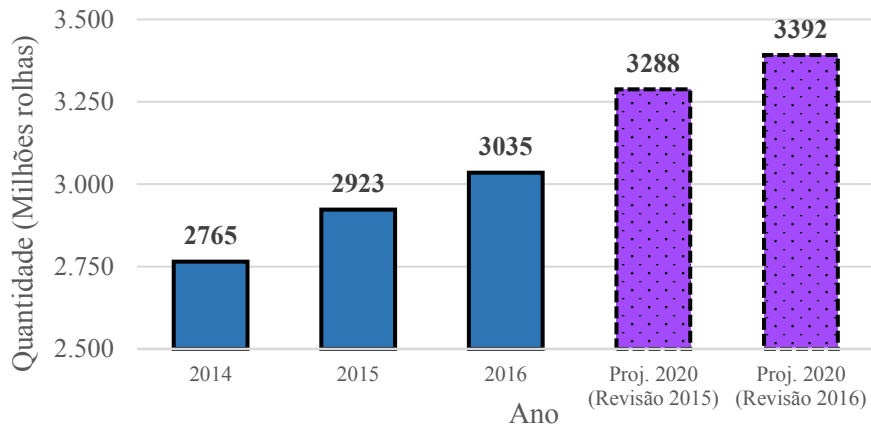


Figura 1.1 - Quantidade de Rolhas Técnicas vendidas pelas Unidades Industriais da Corticeira Amorim entre 2014 e 2016
Fonte: Apresentação interna de resultados: fecho de 2016.

Verifica-se um aumento do número de rolhas vendidas de 9,8% entre 2014 e 2016. O exercício de previsão para 2020, realizado em 2015, sofreu um aumento de 3,2% quando reavaliado em 2016 o que realça o crescimento de mercado das rolhas técnicas de cortiça.

Face ao crescimento da procura, justificado pelo aumento do número de clientes e da sua exigência, advém a necessidade de redução do consumo específico de matéria-prima, granulado de cortiça, e de otimização dos processos existentes de forma a produzir o mínimo de produtos não conformes com a melhor qualidade possível.

Uma das etapas que mais afeta a conformidade e qualidade das rolhas de cortiça é a etapa de aglomeração do granulado de cortiça. Nesta etapa podem ser utilizados dois processos: Moldação e Extrusão. São processos com princípios e fundamentos semelhantes mas com características e condições operatórias que os tornam distintos.

Sendo Portugal a referência do Sector da Cortiça, os processos utilizados são na grande maioria otimizados e testados no contexto industrial. A UI-Equipar utiliza o processo de Extrusão desde 2001, ao longo dos anos foi adquirindo experiência e conhecimento acerca deste processo, permitindo um aperfeiçoamento das máquinas extrusoras e do controlo de processo efetuado. Por outro lado, o processo de Moldação foi implementado em 2015, pelo que apresenta uma maior margem de otimização.

Por estes motivos o presente estudo foca-se essencialmente no processo de Moldação, visando aumentar o conhecimento existente acerca do processo com a finalidade de melhorar a performance do mesmo.

A caracterização dos processos de Moldação e Extrusão bem como comparação entre eles foi muito importante e permitiu aferir acerca do estado e conhecimento atual dos processos e definir quais os aspetos a estudar, serviu para perceber as principais diferenças e semelhanças entre ambos de modo a beneficiar da experiência existente na UI-Equipar acerca do processo de Extrusão, e por fim, possibilitou a criação e desenvolvimento dos ensaios que deram origem aos resultados obtidos.

De realçar que este estudo foi realizado com a colaboração da UI-De Sousa, Unidade Industrial da CA que se dedica essencialmente à aglomeração de corpos através do processo de Moldação.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste estudo é, em sintonia com as orientações estratégicas da empresa, a redução do consumo específico de granulado para a aglomeração de corpos de cortiça.

Atingir este objetivo por si só não é suficiente, é necessário assegurar a qualidade das rolhas (verificada através do parâmetro Absorção) e a produção de produtos conformes (verificado através do indicador percentagem de defeitos).

Com vista ao sucesso destes objetivos foi realizada uma caracterização e comparação dos processos de aglomeração de granulado atualmente existentes: Moldação e Extrusão.

De seguida foram realizados ensaios com o objetivo de melhorar a performance do processo de Moldação através da caracterização das variáveis de processo e da redução de variabilidade dos corpos produzidos.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada da seguinte maneira:

- **Capítulo 1 – Introdução**

Enquadramento do projeto, definição dos objetivos e estrutura da dissertação.

- **Capítulo 2 – Caso de Estudo**

Apresentação do Caso de Estudo através de uma abordagem ao Sector da Cortiça, à Corticeira Amorim e por fim à Unidade Industrial onde o estudo foi realizado: UI-Equipar.

- **Capítulo 3 – Estado de Arte**

Revisão bibliográfica aos temas abordados na dissertação. Com abordagem inicial à origem da matéria-prima, o Sobreiro, de seguida à Cortiça e suas características e por fim à reação química envolvida nos processos de aglomeração estudados.

- **Capítulo 4 – Fundamentos da Qualidade**

Descrição sumária de algumas Ferramentas da Qualidade utilizadas e da sua importância para a realização da dissertação.

- **Capítulo 5 – Caracterização e Comparação dos Processos de Moldação e Extrusão**

Caracterização dos Processos para aglomeração de granulado de Cortiça, Moldação e Extrusão, e apresentação das principais semelhanças e diferenças entre eles. Revisão do conhecimento existente e apresentação dos conceitos que foram essenciais para o desenvolvimento e realização dos ensaios.

- **Capítulo 6 – Materiais e Métodos**

Materiais utilizados e Métodos desenvolvidos para a realização dos ensaios apresentados.

- **Capítulo 7 – Apresentação e Discussão de Resultados**

Apresentação e Discussão dos resultados obtidos através da execução dos ensaios definidos.

- **Capítulo 8 – Conclusões**

Resumo das principais conclusões obtidas através do estudo realizado.

- **Capítulo 9 – Sugestões de Trabalho Futuro**

Apresentação de sugestões para trabalho posterior.

2 Caso de Estudo

2.1 Sector da Cortiça

Portugal é o principal impulsionador do sector da cortiça. Além de produzir cerca de metade de toda a cortiça a nível mundial (FEVICCOM, 2016), as suas exportações representam 62,7% das exportações mundiais, o equivalente a um volume de vendas no valor de 899,3 milhões de euros em 2015 (APCOR, 2016).

O sector da cortiça português apresenta uma balança comercial positiva, 75% em 2015. O crescimento do volume de exportações, Figura 2.1, foi apenas afetado pela crise económica global de 2008 (Salema, 2010), apresentando de seguida, entre 2009 e 2015, uma TMAC (taxa média anual de crescimento) do volume de exportações de 4%.

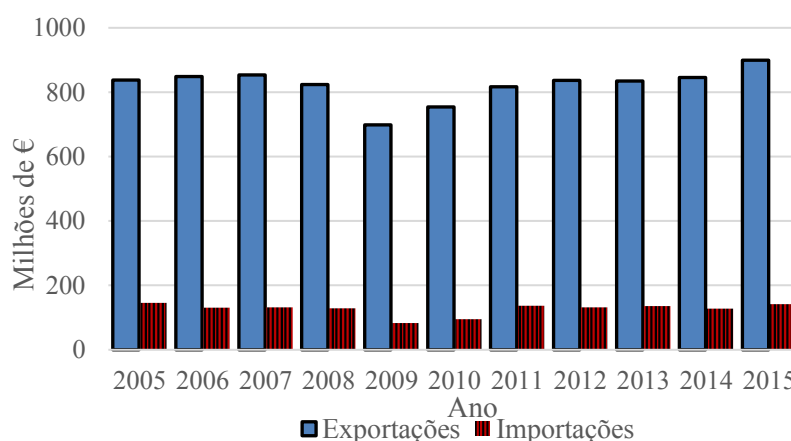


Figura 2.1 - Balança Comercial do Sector da Cortiça, milhões de euros por ano (APCOR, 2016).

É um sector cada vez mais importante a nível nacional (Mendes, 2002), em 2015 representava 19,4% das exportações de produtos florestais e 2% das exportações totais portuguesas. É constituída por cerca de 670 empresas que empregam 9200 operários (APCOR, 2016).

A Associação Portuguesa da Cortiça (APCOR) e a Confederação Europeia da Cortiça (C.E. Liège) têm um papel fundamental no desenvolvimento e promoção da Indústria. Em 1997 criaram o Código Internacional das Práticas Rolheiras (CIPR), um conjunto de normas práticas para a fabricação de rolhas de cortiça cuja adoção permitiu nivelar a qualidade em todo o sector (CIPR, 2013). Em 1999 foi criada a certificação internacional *Systecode* com a finalidade de garantir o cumprimento das normas do CIPR, atribuindo certificados às empresas mediante o nível de aceitação das normas estipuladas. Existem 308 empresas com certificado *Systecode* em todo o mundo, sendo que 241 são portuguesas.

2.2 Corticeira Amorim

A evolução desta indústria em muito se deve ao papel desempenhado pela Corticeira Amorim (CA). A sua origem remonta a 1870, através da fundação de uma fábrica de produção manual de rolhas de cortiça em Vila Nova de Gaia. Com a missão de acrescentar valor à cortiça a CA foi expandindo, alicerçada ao potencial da rolha natural mas ambicionando outros mercados.

Na década de 60 apostou na verticalização do negócio da cortiça e na internacionalização das suas atividades com o objetivo de alcançar a liderança mundial na produção e exportação de produtos de cortiça. Este marco é suportado pela criação da primeira unidade industrial vocacionada para a produção de granulados e aglomerados de cortiça em 1963. Esta política permitiu um aproveitamento dos desperdícios de cortiça em simultâneo com a produção de um conjunto de novas aplicações.

Atualmente a Corticeira Amorim é uma das maiores, mais empreendedoras e dinâmicas multinacionais de origem portuguesa possuindo uma presença consolidada nos cinco continentes através de dezenas de empresas. É responsável por cerca de 35% da transformação mundial de cortiça que representa um volume de negócios de 650 milhões de euros por ano.

As empresas que integram o perímetro da Corticeira Amorim encontram-se estruturadas em cinco principais Unidades de Negócio (UN): Matérias-primas, Rolhas, Aglomerados compósitos, Revestimentos e Isolamentos, bem como pelo departamento de Investigação e Desenvolvimento + Inovação (I&D+I). A estrutura do Grupo Amorim encontra-se representada no Organograma da Figura 2.2.

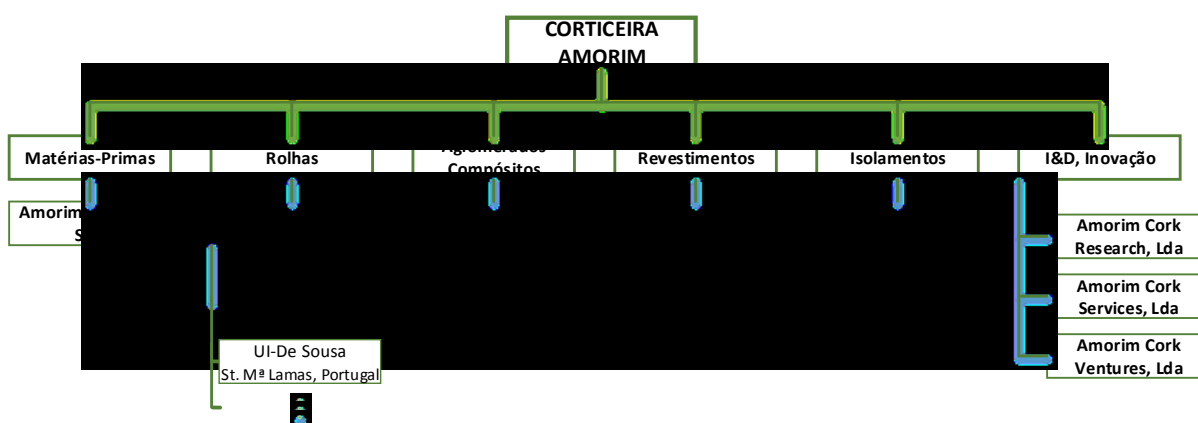


Figura 2.2 - Organograma da Corticeira Amorim (Amorim, 2016).

As unidades de negócio referidas possibilitam o uso da cortiça nos mais diversos setores. Entre eles, o sector do vinho, da construção sustentável, das indústrias aeronáutica e aeroespacial, dos transportes, do *design*, da moda, do desporto, da informática ou da cosmética. O constante aperfeiçoamento dos processos e produtos existentes, e o desenvolvimento sucessivo de novas aplicações, é suportado por uma aposta anual de cerca de 7,5 milhões de euros anuais em I&D+I.

A unidade de negócios com maior representação no universo Amorim continua a ser a UN Rolhas, representando 53% do total de vendas em 2016 (Amorim, 2016).

Esta UN é responsável pela produção tanto de rolhas naturais como de rolhas aglomeradas/técnicas, contando com 9 Unidades Industriais e 33 *Sales Companies* espalhadas pelo mundo.

O presente estudo foi efetuado na UI-Equipar, pertencente à UN-Rolhas e responsável pela produção de rolhas técnicas de cortiça.

2.3 UI-Equipar

A UI-Equipar situa-se em Coruche na Zona Industrial do Monte da Barca. Fundada em 1995, através da associação de vários produtores de cortiça da região, começou a sua atividade através do traçamento de pranchas de cortiça, Figura 2.3.



Figura 2.3 - Fotografia da UI-Equipar no ano de 1997.

A constante inovação e espírito empreendedor permitiram o desenvolvimento da fábrica e o aproveitamento do potencial da cortiça. Ao longo dos anos foram acrescentadas as etapas de cozedura e trituração e seguidamente da produção e marcação de rolha natural. Em 2001 foi pela primeira vez inserida a produção de bastões de aglomerado de cortiça através do processo de Extrusão.

Em 2006 foi adquirida pelo Grupo Amorim tendo reestruturado a sua estratégia através da integração e expansão de praticamente todas as etapas constituintes da produção de rolhas técnicas de cortiça.

Atualmente a UI-Equipar apresenta-se como a maior fábrica do mundo de produção de rolhas técnicas de cortiça, Figura 2.4, e detentora do nível de Excelência no código CIPR. Conta com 184 colaboradores distribuídos por quatro principais secções:

- Secção Trituração - responsável pela receção de matéria-prima, trituração e separação do granulado por granulometrias e densidades. Engloba também o tratamento do mesmo através dos processos ROSA[®];
- Secção Aglomerada (AGLO) - responsável pela produção de rolhas aglomeradas e aglomeradas para espumosos através do processo de Extrusão;

- Secção Twin-Top (TT) - responsável pela produção de rolhas aglomeradas através do processo de Moldação e pela produção de rolhas Twin-Top e aglomeradas para espumosos através do processo de Extrusão;
- Secção Equipar Distribuição (EQD) - responsável pela marcação, tratamento e expedição de rolhas para o cliente final;

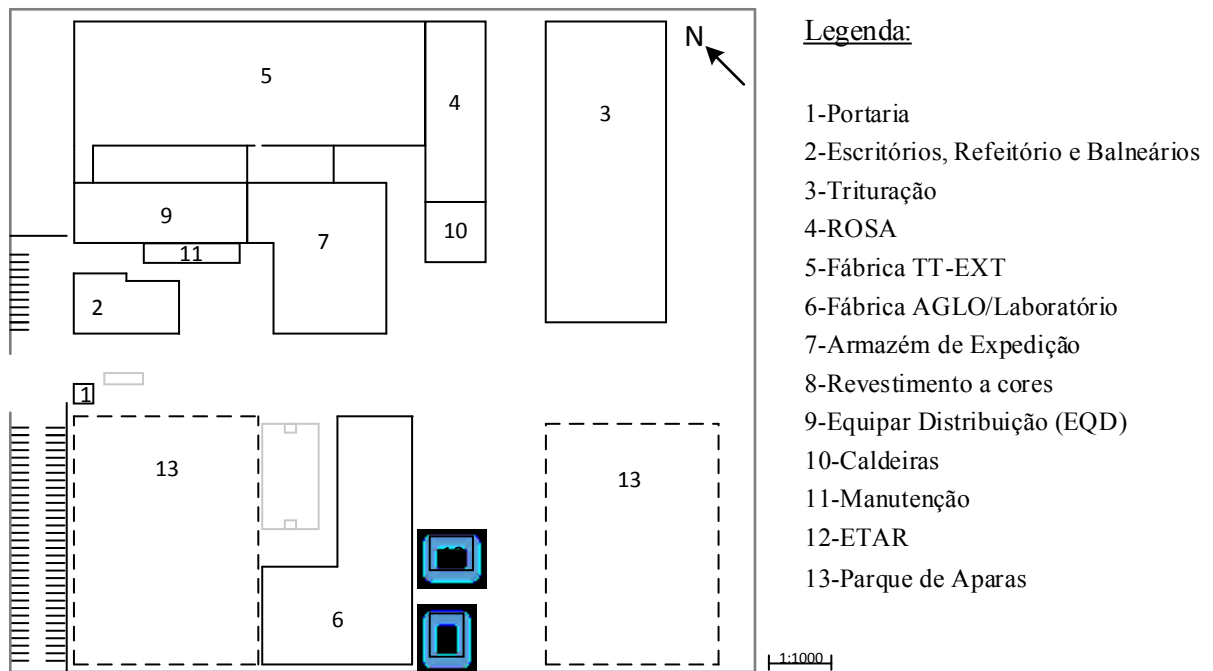


Figura 2.4 - Layout da Unidade Industrial-Equipar.

2.3.1 Produtos

Os principais produtos da UI-Equipar são granulados, provenientes da secção de Trituração, e rolhas de cortiça, semiacabadas ou acabadas.

Granulados

Na etapa de Trituração de granulado de cortiça são obtidos granulados, categorizados consoante a sua granulometria e massa volúmica, tal como ilustrado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Tipos de Granulados produzidos na UI-Equipar.

Granulado	Granulometria (mm)	Descrição
RCT	3-7	Granulado de cortiça de maior granulometria - Rolha de Champanhe Técnica.
RA	2-3	Granulado de cortiça de granulometria intermédia - Rolha Aglomerada.
RN	1-2	Granulado de cortiça de menor granulometria - Rolha Neutrocork.
BD/MD	0,5-1	Subprodutos do processo de Trituração de menor granulometria. Granulados não destinados à produção de rolhas, utilizados noutras aplicações de cortiça.
AD	0,5-1	
	1-2	
ADT	1-2	
Terras	0-2	Fração de menor valor obtido no processo de Trituração. Utilizado na Secção Caldeiras para aproveitamento energético.

Adaptado de (Gomes, 2015)

Rolhas

As rolhas são o produto de maior valor acrescentado. São fabricados vários tipos de rolhas consoante a sua finalidade. A Tabela 2.2 evidencia os principais tipos de rolhas produzidos na UI-Equipar, bem como o tipo granulado e processos de aglomeração geralmente utilizados na sua produção.

A versatilidade da UI-Equipar permite a produção de rolhas de inúmeros calibres (comprimento x diâmetro) consoante as pretensões dos seus clientes.

Tabela 2.2 - Principais tipos de rolhas produzidas na UI-Equipar.

Rolha	Descrição	Granulado	Processo de Aglomeração	Acabada
Twin-Top [®] (TT)	Constituída por um corpo aglomerado e um disco de cortiça natural em ambos os topos. Responde com eficácia às exigências mais elevadas dos vinicultores e mantém todas as propriedades benéficas da rolha de cortiça natural em termos de sustentabilidade. A conformação dos discos pode ser 1+1, 0+1 ou 0+2, de acordo com a sua posição nos corpos.	RCT RN	Extrusão	
Aglomerada para Espumosos	Rolha de cortiça aglomerada destinada a bebidas gaseificadas cuja gama de pressão interna não exceda os 5 bar.	RCT RN	Extrusão	✓
Aglomerada	Rolha de cortiça aglomerada ideal para vinhos de consumo rápido, nos quais a qualidade aliada a um baixo custo é determinante.	RCT RA	Extrusão & Moldação	✓
Advantec [®]	Inovadora rolha técnica obtida através da aglomeração de granulado que foi sujeito a rigorosas técnicas para remoção do composto TCA, incluindo o Sistema ROSA [®] .	RCT RA ROSA [®]	Extrusão & Moldação	✓
Advantec Colours [®]	Lançada em 2012, esta rolha é direcionada para um público jovem e para bebidas de consumo rápido. Permite a combinação da cor da rolha com os elementos decorativos do produto.	RCT RA ROSA [®]	Extrusão & Moldação	✓

Adaptado de (Pinto, 2016 & (Dinis, 2014)

2.3.2 Etapas do processo

Na Figura 2.14 encontra-se ilustrado o fluxograma geral da UI-Equipar. De seguida são abordadas, resumidamente, as várias etapas do processo produtivo.

Cozedura

Trata-se da primeira etapa do processo produtivo, sendo um pré-requisito para a trituração de cortiça (CIPR, 2013). As aparas são submersas em água a uma temperatura de 98°C durante 48 minutos, Figura 2.5. O objetivo deste processo é a remoção de substâncias contaminantes que são solúveis em água. Também permite aumentar a espessura, elasticidade e humidade das aparas.



Figura 2.5 - Tanque de Cozedura (viveiro) de aparas de cortiça.

Trituração

A trituração é responsável pela transformação das aparas em granulados de cortiça para produção de rolhas ou para venda.

Numa primeira fase os diferentes tipos de aparas, num rácio definido, são alimentados ao equipamento Moinho de Trituração (MDT), este executa uma primeira trituração resultando numa mistura apelidada de Broken. De seguida o Broken passa por um ciclo (compreendendo os equipamentos: Peneiro, Secador, Moinho, Rotex e Mesas Densimétricas) onde o granulado é classificado por tamanho e densidade. Os equipamentos MDT e Mesa Densimétrica encontram-se ilustrados na Figura 2.6.

Para o controlo da humidade do granulado atua-se no secador, enquanto que para o cumprimento das especificações de massa volúmica definidas, e para um melhor rendimento das aparas, é efetuado um controlo nas Mesas Densimétricas.



Figura 2.6 - Equipamentos utilizados na Trituração. À esquerda: MDT, à direita: Mesa Densimétrica.

Sistema ROSA®

Para a produção de rolhas de maior valor acrescentado, o granulado passa pelo processo ROSA® (*Rate Of Optimal Steam Adjustment*), um processo inovador que surgiu da necessidade de remoção do 2,4,6-tricloroanisol (TCA) da cortiça.

O granulado é sujeito a uma limpeza por arraste de vapor; passa por um secador onde é controlada a humidade; estabiliza durante cerca de 24 horas; passa por um micro-ondas, sendo promovida a sua expansão e correção de humidade; por fim é novamente estabilizado durante cerca de 8h.

Na UN-Equipar utilizam-se dois sistemas ROSA® com o mesmo objetivo mas com capacidades e eficiências diferentes (Figura 2.7):

- ROSA Hard®: utilizado nos diferentes tipos de granulados para produção de rolhas através de Moldação e Extrusão;
- ROSA HITEC®: evolução tecnológica, utilizado para produção de rolhas aglomeradas RCT através do processo de Extrusão.



Figura 2.7 - À esquerda: Grupos ROSA Hard®. À direita: ROSA HITEC®

Processo de Aglomeração

A aglomeração de granulado de cortiça para obtenção de um corpo pode ser efetuada através de Extrusão ou Moldação. São processos distintos mas que partilham o mesmo princípio: elaboração de uma mistura que posteriormente sofre um processo de cozedura onde ocorrem as reações de aglomeração. A caracterização destes processos é apresentada em maior detalhe no Capítulo 5.

Na UI-Equipar o processo de Extrusão é utilizado maioritariamente para produção de rolhas TT e Aglomeradas para Espumosos enquanto o processo de Moldação é utilizado para produção de rolhas Aglomeradas (RCT e RA sem ROSA[®]) e Advantec (RA com ROSA[®]).

Colagem

Este é um processo exclusivo da produção de rolhas TT. Nesta etapa são utilizados discos de cortiça natural provenientes de unidades industriais pertencentes à UN-Matéria-Prima.

Os discos são classificados visualmente, avaliados segundo a humidade e analisados sensorialmente para deteção do composto TCA e outros compostos (*off flavours*).

Os corpos proveem diretamente do processo de Extrusão uma vez que à saída deste não apresentam os topos parafinados, condição que impossibilita o processo de colagem.

Retificação

A retificação compreende os processos mecânicos que conferem à rolha as suas dimensões finais. Estes processos, representados na Figura 2.8, são:

- Ponçamento: confere à rolha o diâmetro pretendido;
- Topejamento: confere à rolha o comprimento pretendido;
- Chanframento: confere à rolha um chanfro de maneira a facilitar a sua inserção em garrafa (geralmente não utilizado em rolhas Twin-Top).



Figura 2.8 - Etapa de retificação. Da esquerda para a direita: Ponçamento, Topejamento e Chanframento.

Lavação

Nesta etapa as rolhas, já com as dimensões finais, são enxaguadas com recurso a água, peróxido de hidrogénio e soda caustica (Figura 2.9). São desinfetadas, adquirem estabilidade química e uma superfície homogênea. Os programas de lavagem variam consoante a cor pretendida.



Figura 2.9 - Máquinas de Lavagem da fábrica AGLO.

Revestimento

Esta etapa consiste no revestimento das rolhas com pigmentos das mais diversas cores. Trata-se de uma etapa recente e inovadora que permitiu expandir a gama de produtos existente e apelar a novos clientes.

Escolha

Na Escolha as rolhas são analisadas manualmente ou com recurso a máquinas, escolha eletrónica (Figura 2.10), sendo removidos os produtos não conformes. Os resultados obtidos (% defeitos) são um indicador da eficiência dos processos anteriores, em especial dos processos de aglomeração.

As rolhas defeituosas são encaminhadas novamente para a retificação, sendo aproveitadas para produzir rolhas de calibre inferior – rebaixe. As rolhas com defeitos acentuados, impróprias para rebaixe, são utilizadas para produção de outras aplicações de menor valor acrescentado ou encaminhadas para a caldeira para aproveitamento energético – lenhas.



Figura 2.10 - Máquina Escolha Electrónica.

Marcação

Caso seja do interesse do cliente, as rolhas podem ser marcadas. Existem dois tipos de marcação realizados na EQD: marcação a fogo (Figura 2.11) e marcação a tinta, sendo que a última apenas pode ser aplicada no corpo da rolha.

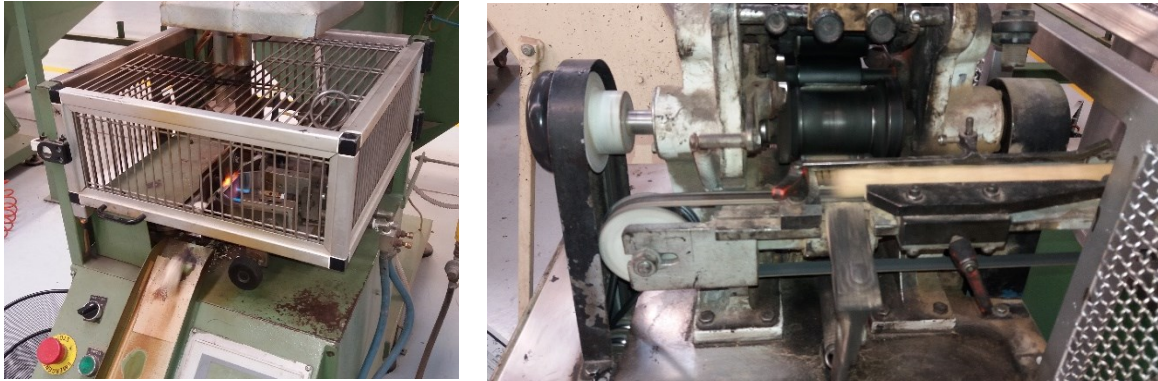


Figura 2.11 - Máquina de Marcação a fogo (esquerda) e a tinta (direita).

Tratamento de Superfície

O Tratamento é geralmente efetuado com recurso a elastómeros de silicone. O objetivo desta penúltima etapa é facilitar a inserção e extração das rolhas em garrafa. Na Figura 2.12 encontram-se representadas as máquinas de tratamento.



Figura 2.12 - Máquinas de Tratamento da Secção EQD.

Contagem, Embalamento e Expedição

Segue-se a última etapa do processo produtivo. Nesta, procede-se à contagem das rolhas sendo posteriormente asseguradas as condições adequadas para o seu transporte.

As rolhas semiacabadas são embaladas em sacas de ráfia com capacidade para 5000 rolhas (Figura 2.13) enquanto as rolhas acabadas são embaladas em sacos de plástico, contidos em caixas de cartão.



Figura 2.13 - Contagem e Embalamento de rolhas semiacabada e acabadas.

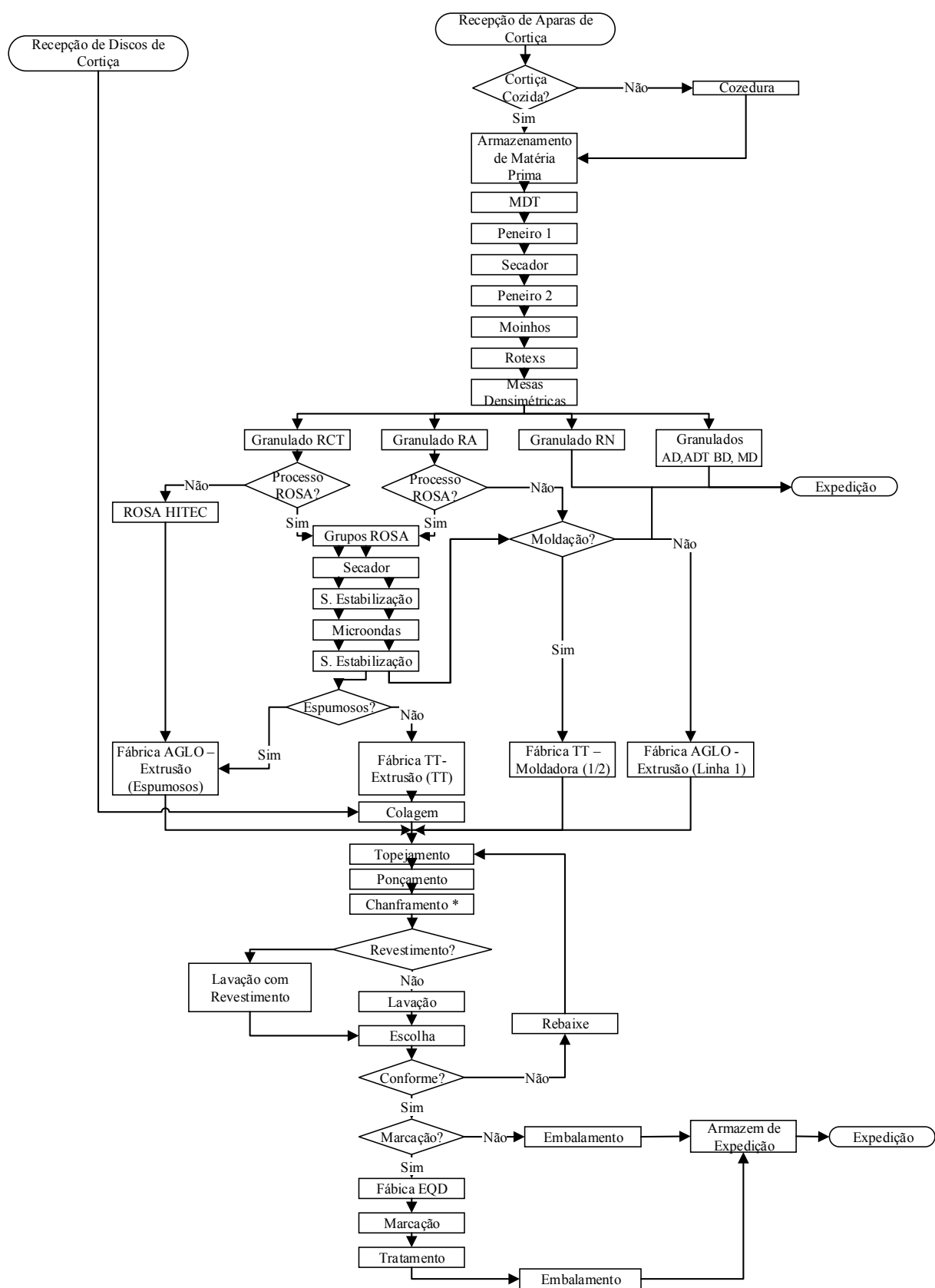


Figura 2.14 - Fluxograma da Unidade Industrial – Equipar.

*As rolhas TT são chanfradas esporadicamente, pelo que geralmente passam para a etapa seguinte.

3 Estado de Arte

3.1 O Sobreiro

O sobreiro é uma árvore pertencente à família *Fagacea*, a que também pertencem o castanheiro e o carvalho. A espécie de sobreiro que dá origem à cortiça é designada de *Quercus Suber Linnaeus* (Natividade, 1950).

Apresenta um porte médio, entre dez a quinze metros de altura, uma copa ampla e irregular, e um tronco grosso com tendência a ramificar a baixa altura. Pode atingir os quinhentos anos de idade, no entanto quando sujeito a sucessivos descortiçamentos a sua longevidade é em média de duzentos anos (Correia & Oliveira, 2002; Marques, 2012).

A elevada capacidade de regeneração do sobreiro permite a exploração comercial da cortiça - produto de maior valor acrescentado. Todos os constituintes da árvore têm potenciais aplicações: o fruto, bolota, é utilizado como alimento de certos animais, no fabrico de óleos culinários e propagação da própria árvore; as folhas são usadas como fertilizante natural e como forragem; a lenha e o carvão vegetal resultam da poda; e os ácidos naturais encontrados na madeira do sobreiro fazem parte da composição de produtos de beleza e de produtos químicos (Amorim, 2017; APCOR, 2017).

O sobreiro é uma espécie legalmente protegida em Portugal. A legislação aplica pesadas multas por danos ou gestão não adequada das árvores, e estabelece regras rigorosas, regulamentando o descortiçamento e a manutenção das árvores. A partir de Dezembro de 2011 o estatuto do sobreiro foi elevado a Árvore Nacional de Portugal. Esta decisão foi tomada por unanimidade na Assembleia da República e visa reconhecer a importância ambiental e socioeconómica da espécie (APCOR, 2017; Projecto de Resolução N.º 123/XII/1.a, 2011).

3.1.1 Montado

O Montado de Sobreiro é um ecossistema importante a nível ambiental dada a diversidade de espécies animais e vegetais que alberga. A nível socioeconómico, para além da produção florestal e das atividades associadas à extração da cortiça, é um local importante para a caça, apicultura, apanha de cogumelos ou de ervas aromáticas (L. Gil, 2015).

Situa-se essencialmente na zona do Mediterrâneo Ocidental devido à excelente adaptação da espécie aos regimes irregulares de precipitação e aos verões longos e secos característicos do clima desta zona (M.E.A., 2009). Nasce espontaneamente em Portugal, Espanha, Norte de Argélia, Tunísia e em zonas mais restritas como no Sul de França e no oeste de Itália (Bugalho & Caldeira, 2008). Atualmente ocupa uma área total de cerca de dois milhões de hectares, distribuídos como ilustrado na Figura 3.1, sendo Portugal o país com maior área de montado no mundo.

A nível nacional o sobreiro ocupa 23,4% da área florestal arborizada do território continental, sendo que 73% se encontram na região do Alentejo. Apresenta um crescimento acumulado de 12% nos últimos cinquenta anos. (Bugalho & Caldeira, 2008; Castro, Sottomayor, Rodrigues, Silva, & Freitas, 2015)

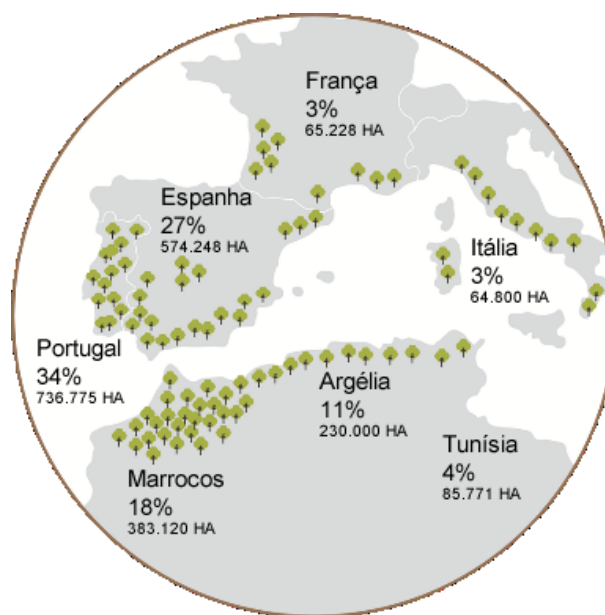


Figura 3.1 - Distribuição da Área de Montado de Sobreiro no mundo (APCOR, 2017).

3.1.2 Descortiçamento

É no processo de descortiçamento que se inicia o ciclo de vida da cortiça enquanto matéria-prima. A cortiça é extraída do tronco e ramos do sobreiro sob a forma de peças semi tubulares, a árvore não pode ser totalmente despida do seu revestimento suberoso. É um processo meticuloso e altamente especializado, realizado manualmente com recurso a machados (Amorim, 2014; L. Gil, 2015).

A sua exploração começa após a árvore atingir 0,7 m de perímetro a 1,3 m do solo, geralmente aos vinte e cinco anos de idade. No primeiro descortiçamento, apelidado de desbóia, é obtida a cortiça virgem. Esta cortiça apresenta uma estrutura irregular com anéis de crescimento não concêntricos, canais lenticulares desalinhados segundo a direção radial, e uma superfície externa intensamente fendilhada conferindo-lhe um aspecto rugoso. O interesse económico desta cortiça é reduzido, sendo utilizada essencialmente para trituração e produção de pavimentos ou isolamentos (Silva, 2010). De seguida são efetuados descortiçamentos com uma periodicidade legal mínima de nove anos, geralmente entre os meses de Maio e Agosto. De realçar que do segundo descortiçamento resulta ainda uma cortiça com alguma irregularidade, chamada de secundeira, que tem como destino as mesmas aplicações que a cortiça virgem. A partir do terceiro descortiçamento é obtida a cortiça de reprodução, ou amadia, detentora de uma superfície exterior mais regular. Um sobreiro produz em média quinze descortiçamentos durante o seu tempo de vida (L. Gil, 2012).

3.2 A Cortiça

Por definição, a cortiça é o parênquima suberoso originado pelo meristema súbero-felodérmico do sobreiro, constituindo o revestimento do seu tronco e ramos (L. M. Gil, 1993).

Trata-se de um material natural, renovável, reutilizável e reciclável que possui um conjunto de características únicas e incomparáveis com qualquer outro replicado pelo ser humano. Dentro das

características referidas são de realçar a excelente capacidade de isolamento térmico e acústico, a impermeabilidade a líquidos e gases, a resistência a altas temperaturas, a elevada resistência ao atrito, a excelente elasticidade e compressibilidade e a resistência a ataques químicos e biológicos (Amorim, 2014).

As suas qualidades são valorizadas desde a antiguidade, sobretudo como artefacto flutuante e como vedante. A partir do século XX, a procura de cortiça teve uma enorme expansão devido ao desenvolvimento de diversos aglomerados à base de cortiça que permitiram a sua utilização para um vasto leque de novas aplicações. Atualmente as propriedades da cortiça são cada vez mais estudadas e valorizadas, levando este material a novas Indústrias como a Construção, Informática, Farmacêutica ou Aeronáutica (APCOR, 2017; Fonseca, 2013; L. Gil, 2012; Silva, 2010).

3.2.1 Composição Química

A composição química da cortiça é influenciada por diversos fatores como: tipo de solo, clima, condições vegetativas, tipo de exploração florestal ou tipo de cortiça (virgem ou de reprodução) (Helena Pereira, 1988).

Os compostos constituintes da Cortiça estão tradicionalmente divididos nos cinco grupos representados na Tabela 3.1. Estes grupos são considerados de acordo com os compostos que incluem e o seu método de obtenção (L. Gil, 2015; Silva, 2010).

Tabela 3.1 - Composição Química da Cortiça.

Método de Obtenção/ Separação	Composto	Composição (%)
Despolimerização (Saponificação)	Suberina	45
Não Extrativos (Resíduo lenho-celulósico)	Lenhina	27
	Polissacáridos*	12
	Cinzas e outros	4
Extrativos (Extração com solvente)	Ceróides	6
	Taninos	6

*Determinados por Hidrólise

A suberina, principal constituinte da cortiça, é um polímero misto com ligações entre monómeros do tipo éster (poliéster) que inclui uma parte aromática e outra alifática. É uma substância que influencia grande parte das características da cortiça, em especial a sua compressibilidade e elasticidade. Verifica-se que cortiças de menor qualidade apresentam um menor teor de suberina (L. M. Gil, 1993).

Os compostos não extrativos, ou resíduo lenho-celulósico, é constituído por materiais azotados e cinzas mas principalmente por lenhina e polissacáridos (celulose e hemicelulose). Estes compostos são polímeros de elevado peso molecular que atuam como suporte das paredes celulares da cortiça conferindo-lhes rigidez (L. M. Gil, 1993; Helena Pereira, 1988).

No que diz respeito aos compostos extrativos, ou seja conjunto de substâncias que podem ser dissolvidas num material vegetal com recurso a solventes orgânicos, neutros ou água, estes contemplam uma fração lipocerosa (ceroides), que desempenha na parede celular uma função de reforço das características de impermeabilização das células suberificadas, e uma fração fenólica (taninos) cujo papel é associado à proteção de ataques de organismos biológicos (Silva, 2010).

3.2.2 Qualidade da Cortiça

A qualidade da cortiça é traduzida pela sua homogeneidade, sendo esta influenciada essencialmente pelas condições do meio. No entanto tem sido demonstrado que existe um forte impacto das características genéticas da árvore de que é extraída, pelo que a eliminação oportuna e sistemática de árvores produtoras de cortiça de baixa qualidade pode melhorar a longo prazo a qualidade da cortiça de determinado montado (Dinis, 2014; H Pereira, Melo, & Pinto, 1994; Silva, 2010).

A homogeneidade da cortiça é afetada pelos seguintes defeitos (Gomes, 2015; Silva, 2010):

- Porosidade - número de lentículas por unidade de superfície, a sua forma e dimensões. O principal aspeto a considerar é a percentagem de área que os poros ocupam;
- Prego - pequenas aglomerações de tecido constituído por células fortemente lenhificadas em detrimento do tecido suberoso, conferem à cortiça uma densidade elevada;
- Verde – regiões bem definidas da cortiça com um teor de humidade mais elevado do que a cortiça que os rodeia;
- Marmoreado - manchas azuis, consequentes da proliferação de um fungo de coloração azul (*Melophia ophiospora* Sacc.)
- Esfoliação - regiões de separação entre camadas de células;
- Enguiado - fendas anormalmente profundas e largas perpendicularmente à direção radial;
- Causados por animais e Pragas – os mais frequentes são o ataque de formiga (cortiça formigada), de cobrilha (cortiça cobrilhada) e de aves (cortiça picada).

A qualidade da cortiça afeta principalmente aplicações mais nobres como é o caso da produção de rolhas naturais de cortiça. No presente estudo são utilizados granulados de cortiça obtidos através da trituração de cortiça que foi desclassificada para a produção de aplicações mais nobres, como é o caso da apara refugo, ou da trituração de cortiça que sobrou da produção dessas aplicações, como é o caso da apara broca (proveniente da transformação em rolha natural) e da apara especial (proveniente da transformação em discos de cortiça natural).

Este facto coloca em evidência a variabilidade e heterogeneidade de matéria-prima introduzida no início da produção de rolhas técnicas de cortiça e o desafio de atenuação da mesma.

3.3 Reação de Aglomeração

A reação de Aglomeração é um passo crítico para a qualidade e conformidade dos corpos de cortiça. Nesta fase é elaborada uma mistura cujos ingredientes e respectivas quantidades variam consoante o processo de aglomeração utilizado. Esta informação é discutida em detalhe no Capítulo 5.

Um dos compostos essenciais para o sucesso da reação de aglomeração é o aglomerante utilizado. No passado a indústria corticeira utilizava como aglomerantes resinas fenólicas, resinas cardólicas e resinas ureia-formaldeído. Atualmente a maioria dos aglomerantes utilizados são pré-polímeros de poliuretano (Júlio, 2016).

3.3.1 Poliuretanos

Os poliuretanos formam uma classe bastante versátil de materiais utilizados em diversos segmentos da ciência e tecnologia. Abrangem desde elastômeros, fibras e espumas a adesivos e revestimentos de superfície. Alguns poliuretanos apresentam biocompatibilidade (Vilar, 2004).

Um poliuretano pode ser definido como o polímero resultante da reação entre um isocianato (NCO) e um composto hidroxilado (OH) sendo que ambos podem ser di ou polifuncionais. Na Figura 3.2 está representada a reação base de formação de um poliuretano (Kloss, 2007).

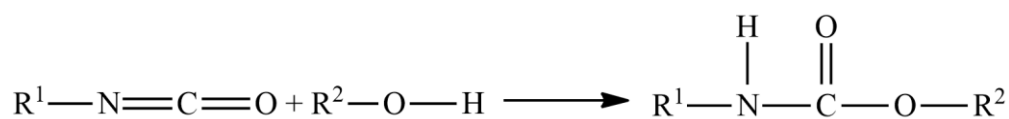


Figura 3.2 - Reação entre um isocianato e um grupo hidroxilo formando uretano.

Entre os monómeros hidroxilados utilizados estão polímeros sintéticos como poliéteres, poliésteres e polibutadienos ou polímeros naturais como polissacáridos ou celulose. Os isocianatos, ou poliisocianatos quando a funcionalidade é superior a dois, podem ser aromáticos, aroma-alifáticos, alifáticos ou ciclo-alifáticos.

A grande variedade de isocianatos e compostos hidroxilados (polióis) disponíveis para a síntese de poliuretanos possibilita a produção de polímeros lineares ou reticulados contendo não só ligações uretânicas mas também outros tipos de ligações provenientes de catalisadores, extensores de cadeia ou aditivos utilizados. Desta maneira é possível a obtenção de uma ampla gama de produtos com propriedades finais variadas (Coutinho & Delpech, 1999; Sharmin & Zafar, 2012).

3.3.2 Pré-polímeros de Poliuretano

Os poliuretanos podem ser obtidos através de processos: de uma etapa e de duas etapas. No processo de uma etapa todos os componentes são misturados simultaneamente num curto período de tempo. Em alternativa, no processo de duas etapas é feita uma reação prévia do grupo polioliol sendo formado um pré-polímero de poliuretano (Monteiro, 2014).

Os pré-polímeros de poliuretano são habitualmente líquidos viscosos produzidos industrialmente em reatores descontínuos agitados. O isocianato e o poliol são adicionados ao reator nas proporções determinadas em função do teor NCO desejado. A reação é conduzida sob forte agitação e atmosfera inerte a uma temperatura máxima de 100°C de modo a evitar a formação de ligações cruzadas alofanato (Vilar, 2004).

Os pré-polímeros utilizados na indústria da cortiça são compostos contendo isocianato em excesso. A reação de polimerização, ou cura, ocorre numa segunda fase, nos processos de aglomeração, promovida pela reatividade do grupo isocianato.

3.3.3 Reatividade de Isocianatos

A observação da estrutura eletrônica do grupo isocianato indica que são possíveis as estruturas de ressonância da Figura 3.3. Nos poliuretanos a maioria das reações dos isocianatos ocorre através da adição à dupla ligação C=N. Um centro nucleófilo contendo um átomo de hidrogénio ativo ataca o carbono eletrófilo e o átomo de hidrogénio ativo é então adicionado ao azoto (Vilar, 2004).

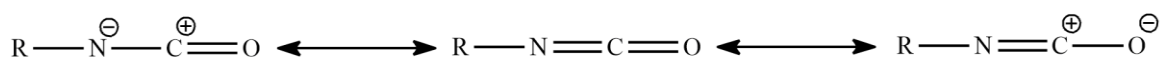


Figura 3.3 - Estrutura de Ressonância do Grupo Isocianato.

Assim, relativamente à formação do grupo uretano, podem ser consideradas quatro reações principais resultantes da reatividade do grupo isocianato com compostos que possuem átomos de hidrogénio ativos (Vilela, 2015). Estas reações estão representadas nas Figuras 3.4 a 3.7.

1. Reação com aminas formando poliureia. Trata-se de uma reação muito rápida que não necessita de catálise.

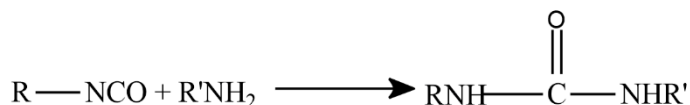


Figura 3.4 - Reação entre isocianato e amina formando ureia.

2. Reação com água formando ureia e dióxido de carbono. A libertação de dióxido de carbono promove a expansão do polímero pelo que esta reação é muito importante na produção de espumas de poliuretano. Esta é a reação mais importante na produção de rolhas técnicas de cortiça.

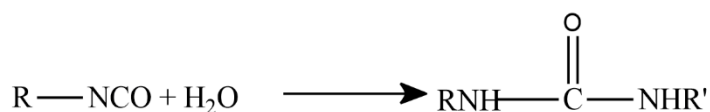


Figura 3.5 - Reação entre isocianato e água formando ureia e dióxido de carbono.

3. Reação com uretano formando alofanato. É uma reação reversível que ocorre a temperaturas elevadas ($> 110^{\circ}\text{C}$).

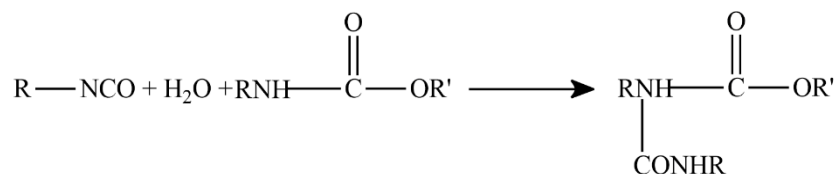


Figura 3.6 - Reação entre isocianato e grupo uretano grupo alofanato.

4. Reação com ureia formando biureto. Tal como a reação 3 é reversível e ocorre a temperaturas elevadas, no entanto apresenta um mecanismo reacional mais lento.

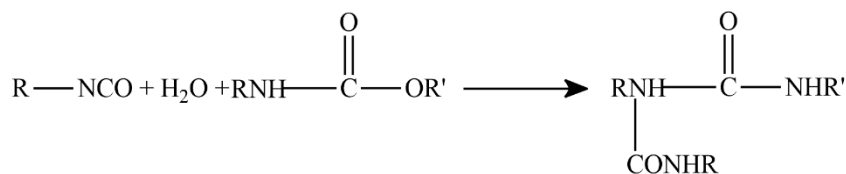


Figura 3.7 - Reação entre isocianato e ureia formando biureto.

Os isocianatos mais utilizados na indústria da cortiça são os diisocianatos aromáticos, entre eles o diisocianato de tolueno (TDI) e metileno difenil diisocianato (MDI).

Na UI-Equipar é utilizado o TDI devido à sua compatibilidade com a indústria alimentar e bons resultados de flexibilidade e elasticidade das rolhas produzidas. É utilizada uma mistura dos isómeros 2,4-TDI e 2,6-TDI, representados na Figura 3.8, numa proporção de 20/80 respetivamente. A reatividade do composto é dependente da proporção de isómeros utilizados uma vez que estes apresentam reatividades diferentes (Gomes, 2015).

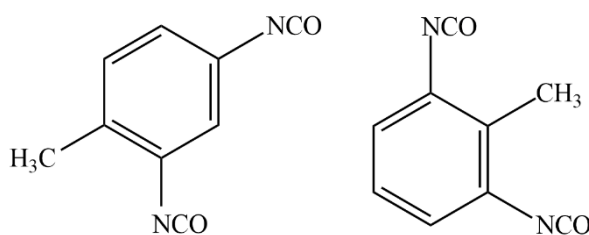


Figura 3.8 - Representação dos isómeros de diisocianato de tolueno. À esquerda: 2,4-TDI, à direita: 2,6-TDI.

3.3.4 Reação com água

A aglomeração de corpos de cortiça é possível através da reação do grupo NCO do isocianato com os grupos funcionais presentes na cortiça (grupos hidroxilo) e com a água. No entanto a reação entre o grupo NCO e a água revela-se fundamental dada a sua elevada reatividade.

Nas Figuras 3.9 e 3.10 estão representados os passos reacionais desta reação, sendo que a podemos dividir em duas etapas: formação do ácido carbâmico, composto muito instável, seguida de

descarboxilação espontânea formando amina e dióxido de carbono; e reação entre o grupo NCO e amina resultante, que atua como catalisador e reticulante, promovendo a formação de poliuretano (Bordado, 2009).

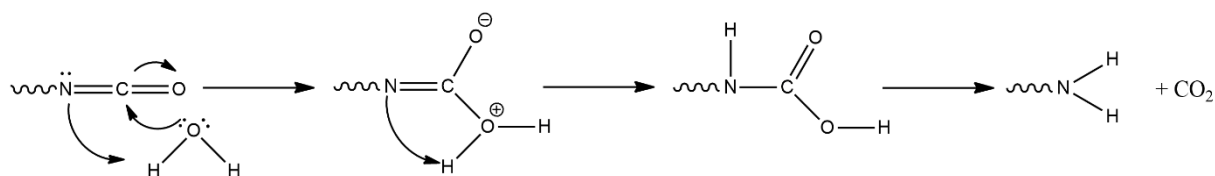


Figura 3.9 - Representação da Reação entre o grupo NCO e a água com formação de amina e liberação de dióxido de carbono.

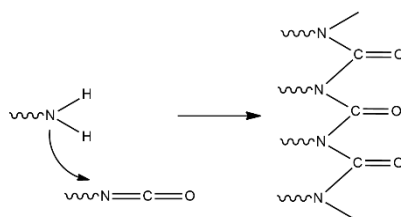


Figura 3.10 - Representação da Reação entre o grupo NCO e amina com formação de poliureia.

A água responsável pela reação descrita deve ser distinguida entre duas:

- Humidade Intrínseca: referente à humidade contida no próprio granulado, ou seja a humidade residual.
- Humidade Extrínseca: referente à humidade adicionada ao granulado, costuma ser adicionada no processo de mistura.

A humidade intrínseca do granulado é controlada de acordo com as especificações do processo em causa. Por outro lado a humidade extrínseca é um parâmetro pouco estudado não sendo ainda conhecidas em detalhe as suas implicações e principais diferenças face à humidade intrínseca do granulado (Moreira, Costa, & Silva, 2015).

Uma adição excessiva de água pode provocar um início de reação precoce. No caso do processo de Extrusão, devido ao maior tempo de consumo da mistura, este efeito é exponenciado podendo provocar bastões abertos à saída do processo (Júlio, 2016). No caso do processo de Moldação, mesmo apresentando um tempo de consumo de mistura muito inferior, uma adição excessiva de água (resultando numa humidade total superior a 14%) pode ter implicações prejudiciais no comprimento dos corpos obtidos (Pinto, 2016).

Ainda assim existem indícios de que a adição de água pode ser utilizada para acelerar o processo de cura, permitindo uma gestão da cinética do processo (Moreira et al., 2015).

4 Fundamentos de Qualidade

O conceito de Qualidade tem evoluído significativamente nas últimas décadas. Atualmente é sinónimo da procura contínua de melhoria em todas as vertentes de uma organização. Pressupõe o envolvimento do maior número de pessoas possível, garantindo uma melhoria das condições de trabalho, de segurança, e contribuindo decisivamente para um aumento de produtividade e competitividade.

Com vista a suportar este novo conceito foram desenvolvidas ao longo do século XX as chamadas Ferramentas da Qualidade. As várias Ferramentas da Qualidade existentes têm finalidades distintas pelo que em cada fase da resolução de um problema podem ser aplicadas várias ferramentas. Idealmente devem ser utilizadas para identificar oportunidades de melhoria, eliminar atividades sem valor acrescentado e reduzir a variabilidade de produtos e processos (Z. Pereira & Requeijo, 2008).

4.1 Brainstorming

O Brainstorming é um método de geração de ideias criativas imprescindível para a aplicação adequada de qualquer uma das Ferramentas da Qualidade.

Inicialmente desenvolvido por Alex F. Osborn, em 1938, é geralmente utilizado para gerar um grande número de ideias num curto espaço de tempo verificando-se fundamental na identificação e na seleção de problemas existentes, nas suas causas e na geração de possíveis soluções. É uma ferramenta cuja eficácia é exponenciada quando utilizada em grupo (Isaksen, 1998).

Existem várias vertentes do Brainstorming, no entanto todas compreendem geralmente três fases: na primeira os membros do grupo apresentam as suas ideias sobre determinado tema sendo favorecida a quantidade e não a qualidade das mesmas; na segunda, procede-se a uma revisão das ideias expostas, eliminando eventualmente quaisquer duplicados; por ultimo é efetuada uma seleção mais refinada das ideias e um sucessivo agrupamento por prioridades (Z. Pereira & Requeijo, 2008).

Esta técnica foi utilizada sucessivamente ao longo do presente estudo para discussão, e definição, dos temas a estudar e deteção das possíveis soluções para os problemas encontrados. Foram utilizadas equipas multidisciplinares da UI-Equipar e da UI-De Sousa.

4.2 Diagrama de Ishikawa

A Metodologia de Ishikawa foi desenvolvida em 1943 por Kaoru Ishikawa com o objetivo de identificar as potenciais causas de um problema previamente definido. Consiste na elaboração de um Diagrama de Ishikawa, ou Diagrama Causa-e-Efeito, que permite organizar informação graficamente e relacionar as causas com os efeitos (problemas) que as mesmas produzem, Figura 4.1. É uma ferramenta particularmente adequada para o desenvolvimento de trabalho em equipa e eficaz quando conjugada

com técnicas de Brainstorming. A sua utilidade tem vindo a ser demonstrada em todo o tipo de indústrias, processos ou problemas (Juran & Godfrey, 1998; Z. Pereira & Requeijo, 2008).

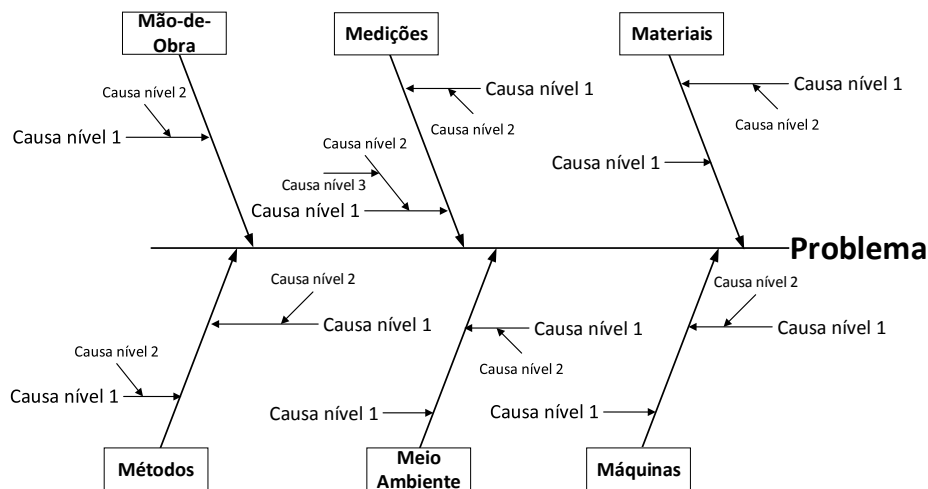


Figura 4.1 - Representação de um Diagrama de Ishikawa, ou Causa-e-efeito.

A construção do Diagrama de Ishikawa é possível seguindo as seguintes etapas (Z. Pereira & Requeijo, 2008):

- Definição do problema:

Todos os contornos do problema em questão devem ser discutidos de forma a identificar claramente as suas características. Quanto mais generalista for o problema mais complicada será a sua análise e resolução pelo que o título deverá ser escolhido sem qualquer tipo de ambiguidade.

Traça-se uma linha horizontal central e descreve-se o problema (efeito) à sua direita.

- Identificação das causas do problema:

As causas podem ser classificadas a vários níveis, o número destes níveis depende do detalhe da análise efetuada. É habitual considerarem-se seis categorias de causas gerais (os 6 M) que costumam ser adequados à maioria dos problemas existentes: Mão-de-obra, Métodos, Meio, Materiais, Medições e Máquina. Esta definição de categorias pode ser ajustada de acordo com o problema em questão. As categorias identificadas são representadas pelas setas oblíquas que convergem para o eixo horizontal do diagrama.

De seguida são identificadas o máximo de causas possíveis, reais ou potenciais, e associadas a uma das categorias identificadas. Cada categoria pode ser subdividida tantas vezes quanto necessárias para melhor agrupar e clarificar as causas do problema.

- Seleção das causas mais prováveis:

Após conclusão do diagrama procede-se à hierarquização das causas tendo em conta a sua probabilidade de estar na origem do problema. Consideram-se geralmente quatro a cinco causas que poderão ser identificadas de forma distinta.

- Definição e implementação de ações corretivas:

São identificadas as potenciais soluções para as causas selecionadas. São definidas as ações a tomar bem como os prazos da sua implementação.

- Avaliação da eficácia das ações implementadas:

Por fim, é necessário avaliar a eficácia das ações tomadas e proceder a uma reavaliação do problema em causa.

Esta ferramenta foi crucial para a familiarização e estudo de problemas identificados ao longo do projeto, mais concretamente: Topos dos corpos Enviesados, Variabilidade das dimensões dos corpos e % Defeitos de topo escasso.

4.3 *Standard Work*

O *Standard Work*, ou trabalho padronizado, consiste num conjunto de procedimentos que combina recursos humanos, materiais e máquinas com a finalidade de manter a qualidade, segurança e eficiência de processos. Uma das vantagens do *Standard Work* é a redução da imprevisibilidade de determinada tarefa, através da padronização da mesma, resultando na diminuição da variabilidade dos processos (Garcia, 2014; Womack, Jones, & Roos, 1990).

Na UI-Equipar esta ferramenta está integrada na filosofia de melhoria contínua *Kaizen* implementada na empresa. É aplicada com vista à otimização e padronização dos procedimentos existentes. A elaboração de um *Standard Work* implica os seguintes passos:

- Definição de Objetivos:

Nesta fase é determinado qual o objetivo do *Standard Work*. São definidas metas a alcançar e indicadores para medir o sucesso destas mesmas metas.

- Estudo do Trabalho:

O processo ou procedimento é analisado em detalhe. São estudadas quais as oportunidades de melhoria do processo e quais os tempos requeridos para cada tarefa. Podem ser utilizadas outras ferramentas da qualidade nesta fase.

- Propostas de Melhoria:

Após análise detalhada do problema em questão, são definidas propostas de melhoria. É necessário verificar se as propostas estipuladas garantem a satisfação das metas definidas anteriormente. São averiguadas as vantagens e retorno das propostas, principalmente no caso das que requerem investimento.

- Normalização do Trabalho:

Nesta fase são criadas as normas, com vista à normalização de procedimentos. As operações inerentes ao procedimento são descritas e são cronometrados os tempos necessários para cada uma.

- Treino da Norma:

Esta é a etapa final da criação de um Standard Work. Devem ser esclarecidos quais os executantes da norma e, se necessário, quais os formadores para aplicação da mesma. As normas devem ser afixadas em local apropriado, acessíveis aos executantes.

Na sequência do trabalho desenvolvido foram criados *Standard Works* referentes ao procedimento de paragem da moldadora para troca de cestos.

4.4 Histograma

O histograma é uma representação gráfica que ilustra a frequência de ocorrência dos valores de determinada variável contínua ou discreta. Fornece informações importantes sobre a dispersão e localização dos valores recolhidos.

A construção de um histograma requer o agrupamento dos dados em classes, com igual amplitude, procedendo-se de seguida à contagem do número de ocorrências em cada uma. O número de classes é variável uma vez que depende do número total de observações (Z. Pereira & Requeijo, 2008).

Duas das regras mais utilizadas na determinação do número de classes (k) são apresentadas nas equações 4.1 e 4.2.

$$k = \sqrt{N} \quad (4.1)$$

$$k = 1 + 3,222 \times \log(N) \quad (4.2)$$

Onde N representa o número total de observações.

A construção de um histograma, exemplificado na Figura 4.2, deve seguir os seguintes passos:

- Determinar a amplitude (R) de cada classe (equação 4.3).

$$R = \frac{h}{k} \quad (4.3)$$

Onde h representa a amplitude dos dados (X) observados (equação 4.4).

$$h = X_{máx} - X_{min} \quad (4.4)$$

- Agrupar os dados em classes e determinar as frequências absolutas (f_a) e as frequências relativas (f_r) de cada classe bem como as frequências relativas acumuladas (F_r), equações 4.5 e 4.6.

$$f_r = \frac{f_a}{N} \times 100 \quad (4.5)$$

$$F_r = \sum_{i=1}^r f_{r_i} \quad (4.6)$$

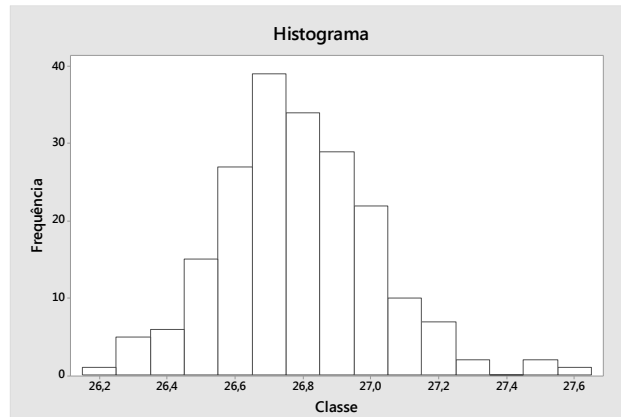


Figura 4.2 - Exemplo de Histograma de Frequência.

Existem três tipos de histograma de acordo com o tipo de frequência representado no eixo vertical: Histograma de Frequência, Histograma de Frequência Relativa e Histograma de Percentagem.

Estes fornecem informações importantes sobre o tipo de distribuição da população da qual a amostra foi retirada, tais como a forma da distribuição, a localização (ou tendência central) e a dispersão ou variação dos dados experimentais (Weiss, 2012).

4.5 Inferência Estatística: Teste de Hipóteses

A Inferência Estatística é um ramo da Estatística cujo objetivo é deduzir as propriedades de determinada população através da análise de uma ou mais amostras retiradas aleatoriamente dessa mesma população (Weiss, 2012).

O Teste de Hipóteses é um método de inferência estatística que permite verificar se determinada hipótese, feita sobre uma população, deve ou não ser rejeitada.

A hipótese que se pretende rejeitar é a chamada Hipótese Nula (H_0), formulada sempre por uma igualdade. Por outro lado, a Hipótese Alternativa (H_1), formulada sempre por uma desigualdade, constitui uma opção face à Hipótese Nula. Assume-se que a Hipótese Nula é verdadeira ao longo do teste, no caso de se verificar uma evidência estatística que permita rejeitar a Hipótese Nula a validade da Hipótese Alternativa é reforçada (Z. Pereira & Requeijo, 2008).

Para a realização de testes de hipóteses devem ser assegurados determinados pressupostos: Normalidade dos dados, Independência e Homogeneidade de Variância (verificado através do teste de comparação de duas variâncias).

4.5.1 Comparação de duas Variâncias

Considerando duas distribuições normais, com variâncias σ_1^2 e σ_2^2 , pretende-se testar a hipótese destas não serem significativamente diferentes. As hipóteses a testar são:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

A estatística de teste (F_0) é definida pela equação 4.7.

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.7)$$

Em que S_1^2 e S_2^2 são as variâncias calculadas através dos dados (amostras) recolhidos de ambas as populações.

A Hipótese Nula é rejeitada, para um determinado nível de significância (α), se:

$$F_0 > F_{\frac{\alpha}{2};(n_1-1)(n_2-1)} \text{ ou se } F_0 < F_{(1-\alpha/2);(n_1-1)(n_2-1)}.$$

4.5.2 Diferença de duas Médias

Considerando duas populações, com distribuições normais e independentes, com médias μ_1 e μ_2 , pretende-se testar a hipótese destas não serem estatisticamente diferentes. As hipóteses a testar são:

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

A estatística de teste a utilizar depende do conhecimento do valor da variância da população. Caso não seja conhecido é necessário aferir sobre a diferença entre as variâncias amostrais através da análise da comparação de duas variâncias descrita anteriormente.

Assim, caso a variância seja conhecida a estatística de teste (Z_0) é definida pela equação 4.8.

$$Z_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (4.8)$$

Onde \bar{X} representa as médias amostrais.

A Hipótese Nula é rejeitada se $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$ (teste bilateral).

Caso a variância seja desconhecida e as variâncias amostrais significativamente diferentes a estatística de teste (t_0) é definida pela equação 4.9.

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (4.9)$$

A Hipótese Nula é rejeitada se $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, gl}$. (gl representa os graus de liberdade).

Caso a variância seja desconhecida e se as variâncias amostrais não forem significativamente diferentes é necessário calcular a Variância Combinada (S_p^2) através da equação 4.10.

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4.10)$$

Sendo que a estatística de teste (t_0) é definida pela equação 4.11.

$$t_0 = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (4.11)$$

A hipótese nula é rejeitada se $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, (n_1+n_2-2)}$.

4.5.3 ANOVA – Diferença de três ou mais médias

A técnica estatística denominada ANOVA (*Analysis of Variance*) permite comparar os valores médios de mais de dois grupos. Este tipo de teste é vantajoso face à realização de múltiplos testes de comparação de duas médias uma vez que permite controlar/diminuir significativamente o erro acumulado (Z. Pereira & Requeijo, 2008).

As hipóteses a testar são:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_k$, sendo k o nº total de grupos.

H_1 : Pelo menos uma média é diferente das restantes

Para testar a afirmação anterior recorre-se à análise de variância, construindo a tabela ANOVA representada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resumo dos cálculos efetuados para a realização da análise ANOVA.

Fonte de Variação	SS _T (Soma dos Quadrados)	gl (graus de liberdade)	MS (Média dos Quadrados)	F (Estatística de Teste)
Entre grupos	$SS_B = \sum_{i=1}^g (\bar{X}_i - \bar{X})^2$	g-1	$MS_B = \frac{SS_B}{g-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
Dentro dos grupos (erro)	$SS_W = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} n_i (\bar{X}_{ij} - \bar{X})^2$	g(n-1)	$MS_W = \frac{SS_W}{g(n-1)}$	
Total	$SS_T = SS_B + SS_W$	gn-1		

Entende-se por SS_T a variação total (*Total Sum of Squares*), SS_B (*Between Sum of Squares*) a variação entre os níveis ou tratamentos, enquanto SS_W (*Within Sum of Squares*) representa a variação dentro dos níveis ou tratamentos. O número de grupos é representado por g, enquanto n representa o número de observações por grupo.

O valor da estatística de teste é comparado com o valor crítico ($F_{crítico}$ ou valor-p), dado por $F_{\alpha;(\alpha-1);(N-\alpha)}$. A hipótese nula é rejeitada se $F > F_{crítico}$.

Comparações Múltiplas

O teste ANOVA indica se existe uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos analisados. Contudo, não determina quais os grupos que apresentam diferenças estatisticamente significativas.

Para aferir quais as relações entre os grupos analisados são utilizados os testes *post-hoc*, assim denominados porque são aplicados após a realização da análise de variância (e rejeição da hipótese nula). Um dos testes post hoc mais utilizados é o teste de Tukey, ou Tukey's *HSD* (*honestly significant difference*). Trata-se de um teste rigoroso, que pode ser aplicado quando não se verifica igualdade de dimensões amostrais. Para aplicação deste teste é necessário calcular *HSD* através da equação 4.12.

$$HSD = q(k, gl, \alpha) \sqrt{\frac{QME}{n}} \quad (4.12)$$

Em que *QME* representa o quadrado médio do erro e *q* é um valor obtido através da tabela de Tukey.

A igualdade entre as médias (μ) de dois grupos (i e j) é rejeitada caso o valor absoluto das suas diferenças amostrais seja superior a *HSD*, equação 4.13.

$$\mu_i - \mu_j > HSD \quad (4.13)$$

5 Caracterização e Comparação dos Processos de Moldação e Extrusão

Neste capítulo foi realizada uma caracterização dos processos existentes para aglomeração de corpos de cortiça: Moldação e Extrusão. Esta caracterização teve como base o conhecimento adquirido e a experiência acumulada na UI-Equipar bem como uma revisão à informação existente sobre estes processos.

Com esta caracterização foi possível averiguar o estado dos processos e perceber quais as principais diferenças e semelhanças entre ambos. Serviu também de apoio aos ensaios realizados, permitindo decidir quais os aspetos a estudar e como desenvolver os protocolos apresentados no Capítulo 6, que permitiram obter os resultados apresentados no Capítulo 7.

5.1 Comparação – Matéria-Prima

A matéria-prima, granulado de cortiça, é essencial e comum aos dois processos de aglomeração. Variações nas características do granulado implicam, inevitavelmente, variações nas características dos corpos produzidos. As características do granulado que são consideradas mais importantes, à entrada dos processos de aglomeração, são a sua humidade e massa volúmica.

Foi realizada uma análise aos dados históricos, referentes a 2016, com o objetivo de caracterizar a variabilidade inerente à entrada de matéria-prima nos dois processos. Foi analisada a diferença entre o granulado RA e o granulado RA com passagem pelo sistema ROSA®.

É importante referir que o granulado pode ter diferentes proveniências. O granulado com passagem pelo sistema ROSA® é armazenado em Silos (12 a 16 ton de capacidade) enquanto que o granulado sem passagem pelo sistema ROSA® é armazenado em big-bags (cerca de 260 kg de capacidade), Figura 5.1. O armazenamento pode ter influência na alteração das características do granulado em função do tempo de armazenamento e das condições climáticas.



Figura 5.1 - Métodos de armazenamento de granulado. À esquerda: Silos, à direita: big-bags.

5.1.1 Humidade do granulado

A especificação da humidade de granulado à entrada dos processos encontra-se resumida na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Especificação de Humidade de granulado à entrada dos processos de aglomeração.

Processo	Granulado	Especificação (%)
Moldação	RA	9±1
	RA ROSA®	
Extrusão	RA	8,5±1

A análise aos dados históricos encontra-se resumida na Figura 5.2 sob a forma de Histograma.

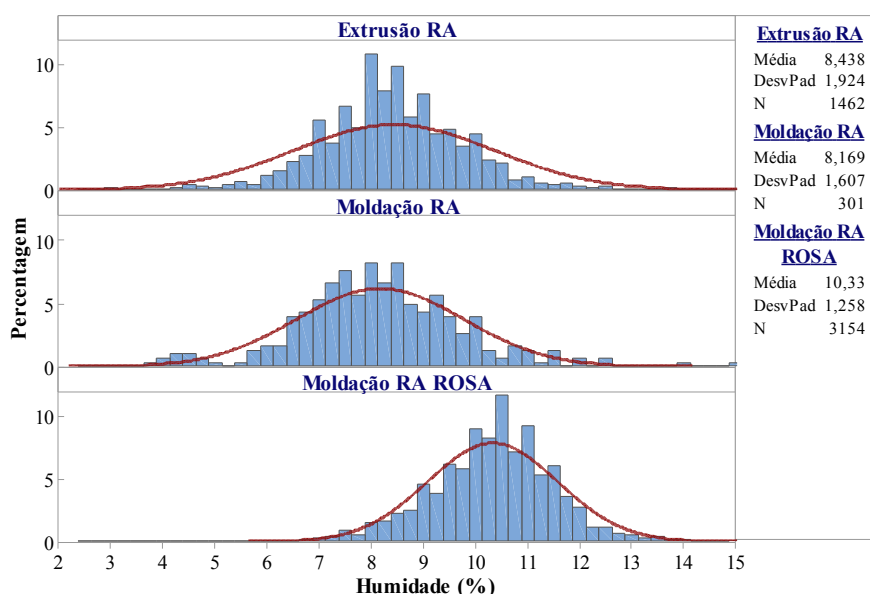


Figura 5.2 - Histogramas dos valores de Humidade registados no ano de 2016.

Verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre o granulado com passagem pelo processo ROSA® e os restantes. Este apresenta a maior média de humidades, entre [10,28-10,38]% para um intervalo de confiança (IC) de 95%. Esta discrepância é justificada pela passagem do granulado pelo sistema ROSA® Hard no qual é sujeito a um arrastamento por vapor de água.

A diferença verificada entre os granulados RA à entrada dos processos de Moldação, [8,00-8,34]%, e de Extrusão, [8,36-8,52]%, ilustra a variabilidade e heterogeneidade que se verifica no granulado de cortiça. O granulado é geralmente produzido em simultâneo, no entanto apresenta humidades diferentes quando analisado à entrada dos processos. O local de armazenamento dos big-bags ou o tempo até o seu consumo são fatores que podem afetar a humidade do granulado. De realçar que mesmo no interior de um big-bag é possível verificar discrepâncias significativas nos valores de humidade.

A humidade do granulado também é significativamente afetada pela temperatura ambiente verificando-se humidades inferiores nos meses de Verão e superiores nos meses de Inverno. O mês de 2016 em que se verificou o menor valor de humidade para os três grupos foi Julho.

5.1.2 Massa Volúmica do granulado

A especificação da massa volúmica de granulado à entrada dos processos encontra-se resumida na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Especificação de Massa Volúmica de granulado à entrada dos processos de aglomeração.

Processo	Granulado	Especificação (kg/m ³)
Moldação	RA	70±2
	RA ROSA®	
Extrusão	RA	

Os dados analisados referem-se ao valor de massa volúmica corrigida para humidade de 8% (equação 5.1), desta forma os valores podem ser comparados sem interferência da humidade do granulado no valor de massa volúmica.

$$MV \text{ corrigida (8\%)} = MV * \frac{(100 - H)}{92} \quad (5.1)$$

A análise comparativa efetuada, tendo como base as medições de massa volúmica do ano de 2016, encontra-se representada na Figura 5.3.

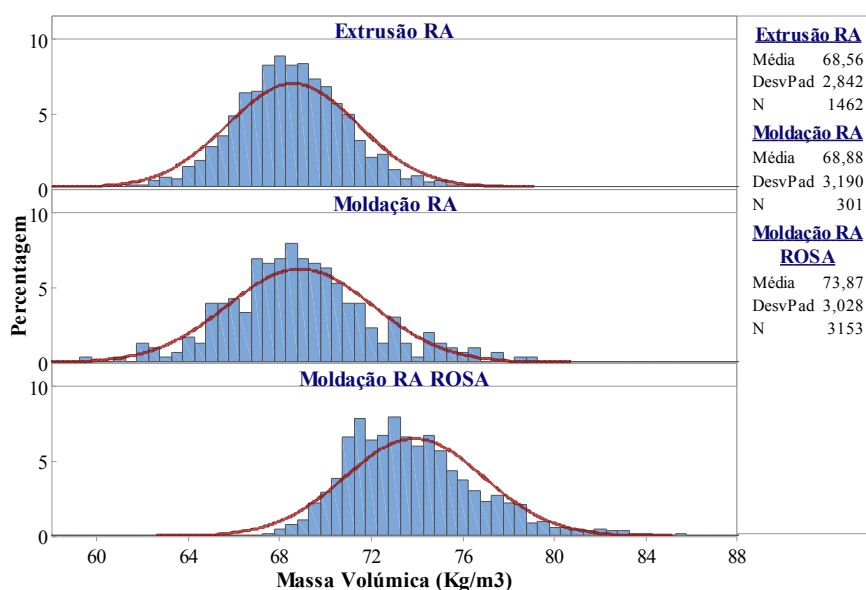


Figura 5.3 - Histogramas dos valores de Massa Volúmica registados no ano de 2016.

Para um IC de 95% verifica-se uma média de massa volúmica corrigida (kg/m^3): de [68,41-68,71] para o granulado RA do processo de Extrusão, de [68,54-69,21] para o granulado RA do processo de Moldação e de [73,76-73,97] para o granulado RA ROSA[®] utilizado no processo de Moldação.

Verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre a média de massa volúmica do granulado com passagem pelo sistema ROSA[®] Hard e os restantes. A massa volúmica do granulado aumenta com a passagem pelo micro-ondas e secador.

As médias de massa volúmica do granulado RA com destino ao processo de Moldação e o mesmo granulado com destino ao processo de Extrusão não se apresentam estatisticamente diferentes.

5.2 Extrusão

O processo de Extrusão foi inserido nas atividades da UI-Equipar em 2001. Este foi alvo de melhorias ao longo dos anos. Na UI-Equipar estão atualmente presentes oito linhas de Extrusão, sendo que três se dedicam maioritariamente à produção de rolhas TT, uma se dedica à produção de rolhas Aglomeradas e as restantes quatro se dedicam à produção de rolhas Aglomeradas para Espumosos.

Na Figura 5.4 encontram-se resumidas as entradas e saídas deste processo, bem como as variáveis e condições operatórias que têm influência no mesmo.

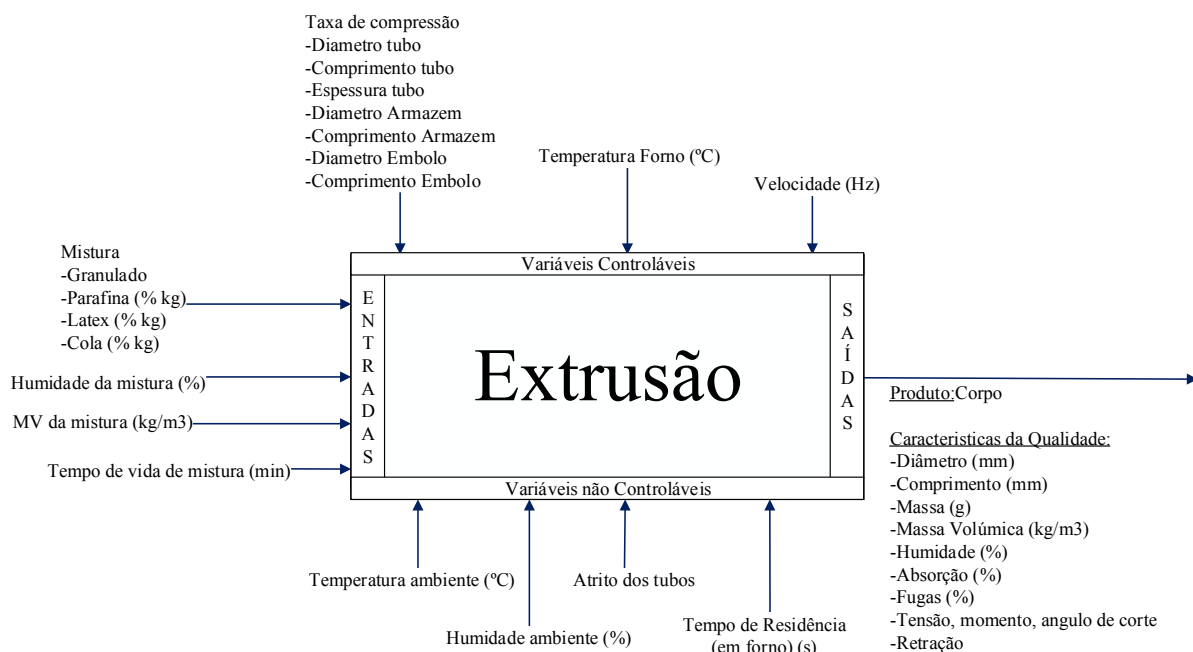


Figura 5.4 - Esquema representativo das principais entradas e saídas, bem como das variáveis e condições operatórias, do processo de Extrusão.

5.2.1 Descrição do Processo

Cada linha de extrusão é constituída por oito máquinas extrusoras, cada uma com dois lados (A e B), Figura 5.5. Cada lado de uma máquina extrusora é constituída por 25 tubos. Cada linha de extrusão é abastecida por uma Misturadora.



Figura 5.5 – Linhas de Extrusão da Fábrica AGLO. À direita: lado A de uma Máquina Extrusora.

O granulado é alimentado a um Tegão de Alimentação que atua como *buffer* de alimentação às misturadoras. Este tegão encontra-se sempre cheio.

O operador dá início à mistura transferindo assim o granulado do Tegão de Alimentação para a Misturadora através de uma eclusa. A massa de granulado que entra na Misturadora é medida através de um sensor ótico que faz a contagem do número de voltas da eclusa, há uma relação de aproximadamente 800 g de granulado por cada volta da eclusa.

De seguida o operador dá novo sinal para que se inicie a adição de produtos químicos à mistura, é adicionada cola, latex e parafina pela ordem referida. O fornecimento é garantido através de bombas de membranas. Os ingredientes encontram-se contidos em contentores IBC (*Intermediate Bulk Container*) assentes em balanças, pelo que as quantidades são medidas através da comunicação entre a balança e uma electroválvula situada junto da Misturadora. Este método de medição implica um erro no fornecimento de produtos químicos associado à elevada dimensão dos IBCs face à quantidade de produtos químicos.

A quantidade de granulado fornecido à misturadora depende do tipo de granulado, do número de máquinas extrusoras operacionais e do diâmetro dos bastões enquanto a quantidade de produtos químicos é sempre calculada como uma percentagem da quantidade de granulado. A Tabela 5.3 evidencia as receitas existentes para cada tipo de granulado bem como os tempos de mistura mínimos de cada ingrediente.

A Misturadora está ainda equipada com um sistema de extração responsável pela remoção do pó resultante do processo de mistura.

Tabela 5.3 - Receitas utilizadas no processo de Extrusão e tempos mínimos de mistura.

Ingredientes	% de composto na mistura	Tempo de mistura mínimo (s)	Tempo de mistura máximo (s)
Granulado	≈85%	30	-
Cola	≈12%	30	900
Látex	≈1,3%	60	200
Parafina	≈1,7%	60	200

Depois de efetuada a mistura, é aberta a passagem para o Tegão de Descarga, local onde vai permanecer até ser totalmente consumida/alimentada às máquinas extrusoras.

A alimentação às máquinas extrusoras é efetuada individualmente através de um Carrinho de Alimentação (entre 12-20 kg por descarga). A transferência de mistura do Tegão de Descarga para o Carrinho de alimentação é facilitada por um sensor ótico, disposto entre estes dois, que regula a abertura do Tegão de Descarga com a altura de mistura no Carrinho de Alimentação. A Figura 5.6 ilustra o percurso do granulado até à fase de alimentação às Extrusoras.

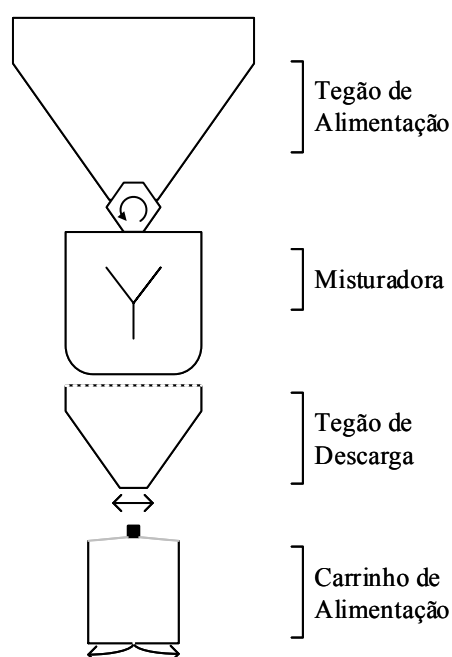
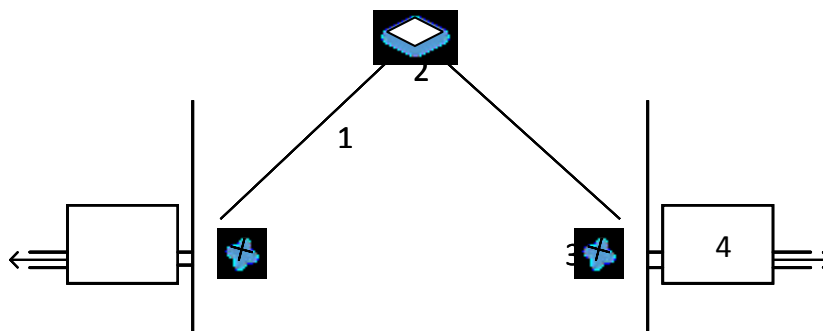


Figura 5.6 – Extrusão: Representação Esquemática do percurso do granulado desde o Tegão de Alimentação até ao Carrinho de Alimentação.

Cada extrusora está equipada com um sensor, situado num dos lados da caixa, que transmite um sinal sempre que for necessária nova alimentação. O Carrinho de Alimentação descarrega assim toda a sua carga para a Caixa da Extrusora que enviou o sinal em primeiro lugar, voltando de seguida novamente à posição inicial, por baixo do Tegão de Descarga.

A Caixa da Extrusora, Figura 5.7, está equipada com uma divisão triangular que permite a separação do granulado para cada lado da máquina, e ainda por um “chapéu”, em aço inoxidável, que permite que a mistura seja espalhada de maneira homogênea pelos seus 25 tubos constituintes.



*Figura 5.7 - Representação de uma Caixa da Máquina Extrusora.
1-Divisão triangular; 2-“Chapéu” em aço inoxidável; 3-Pistões; 4-Forno*

A mistura é de seguida forçada a entrar nos tubos através de pistões que atuam de forma contínua. O início dos tubos é aquecido por um Forno constituído por quatro resistências. A passagem pelo Forno permite a reação de aglomeração da mistura formando-se um bastão de aglomerado de cortiça à saída dos tubos com diferentes diâmetros consoante o diâmetro dos tubos.

Este bastão vai de encontro a um sensor de pressão colocado na extremidade da extrusora permitindo o seu corte através de uma serra elétrica de acordo com o comprimento de corpo pretendido.

5.2.2 Condições Operatórias

Temperatura de Forno (°C)

Quanto mais alta a Temperatura de Forno mais rápido se dá o processo aglomeração e maior é a velocidade de produção de bastões.

A especificação de Temperatura de Forno varia entre 115-120°C.

Velocidade (Hz)

Representa a velocidade dos pistões que comprimem a mistura para dentro dos tubos. Quanto maior a Velocidade maior é a velocidade de crescimento do bastão, logo maior a produção de corpos, e menor é o tempo de permanência em Forno

A especificação de Velocidade varia entre 20-30 Hz.

Uma variável muito importante no processo de Extrusão é o Tempo de Residência de granulado nos fornos, este depende da Temperatura de Forno, da Velocidade e da % de Parafina.

Quanto mais alta for a Temperatura de Forno menor poderá ser o Tempo de Residência do granulado nos fornos e vice-versa (Júlio, 2016). Por este motivo, uma das melhorias do processo de Extrusão, foi a incorporação de mais resistências de temperatura nos fornos das extrusoras, que permitiu encurtar o tamanho dos mesmos e aumentar a produção de corpos.

5.2.3 Controlo de Processo

Limpeza/Manutenção

As linhas de Extrusão operam geralmente durante seis dias por semana, com arranque a cada segunda-feira.

No final de cada semana é efetuada a queima das linhas. Este processo consiste no aumento da Temperatura de Forno até cerca de 200°C permitindo a limpeza do interior dos tubos. É ainda efetuada a limpeza completa, à temperatura de trabalho, a uma linha de Extrusão por turno.

Controlo de Entrada - Mistura

Para cada mistura efetuada é controlada a humidade do granulado na altura em que este é inserido na Misturadora através do aparelho de medição *Aquaboy*. A especificação de humidade varia consoante o diâmetro dos tubos das máquinas extrusoras. A mistura é segregada caso não se encontre entre 4 e 14%.

No caso do granulado se apresentar com humidade mais baixa do que o pretendido é-lhe adicionada água. É adicionado um litro de água por cada ponto percentual que se pretenda subir (para misturas de 100kg), no entanto nunca são adicionados mais do que dois litros de água por mistura uma vez que uma adição excessiva de água pode promover a reação da cola com a água antes de tempo. No caso do granulado se apresentar com humidade mais alta do que o pretendido, é deixado a misturar durante alguns minutos, antes da adição de produtos químicos, para que a humidade baixe.

É também efetuado o controlo de Doseamento de Produtos Químicos a uma Misturadora por turno de produção. Neste controlo o operador verifica se as quantidades de produtos químicos inseridos na mistura se encontram efetivamente dentro dos limites estabelecidos. Para tal os produtos químicos são removidos aquando da sua adição à mistura e pesados em balanças de maior rigor.

Além destes controlos é também tido em conta o tempo de consumo da mistura, ou seja o tempo entre a conclusão da mistura e o seu consumo. Para tempos de mistura superiores a 45 minutos esta é segregada.

Controlo de Saída - Corpos

O controlo à saída do processo de Extrusão é efetuado duas vezes por turno, através da análise a seis corpos por cada lado e por cada máquina extrusora. Perfazendo um total de 80 corpos no caso de a linha se encontrar completamente operacional. É medido o comprimento, diâmetro, humidade, massa e massa

volúmica de 64 destes corpos através do aparelho de medição *MedCork* e a percentagem de fugas de 16 destes corpos, dois por cada lado de cada máquina, através do teste de Permeabilidade de Gases.

Além destes controlos são ainda efetuados, uma vez por turno, os ensaios de Absorção em Água, Torção, Fervura e Crescimento do Bastão, o último permite avaliar qual o Tempo de Residência em forno enquanto os restantes permitem aferir acerca da qualidade das rolhas produzidas.

Quando a percentagem de fugas se apresenta acima de 15% a produção é segregada e reanalisada após estabilização.

Através dos dados obtidos do controlo de processo são tomadas decisões, sendo que a principal é a variação da percentagem de parafina na mistura. Com o aumento do tempo de operação o atrito dos tubos aumenta provocando uma diminuição do Crescimento de Bastão (aumento do Tempo de Residência em forno) e um conseqüente aumento da massa volúmica dos corpos. Estão definidos patamares de parafina ao longo de cada semana, pelo que a percentagem deste produto aumenta gradualmente com o tempo, com a finalidade de contrariar este aspeto.

Sobe-se um patamar de parafina caso as massas volúmicas dos corpos se apresentem acima do limite de especificação ou caso o Crescimento do Bastão não seja o desejado, sendo que a percentagem de fugas deve encontrar-se dentro dos limites.

Também é possível atuar na Velocidade (dos pistões) ou na Temperatura de Forno, no entanto este procedimento é evitado.

5.3 Moldação

O processo de Moldação foi inserido em 2015, sendo que não se verificam alterações significativas nas moldadoras desde a sua integração. Na UI-Equipar existem duas moldadoras situadas na fábrica TT cuja principal diferença é o comprimento dos moldes. Estas dedicam-se à produção de rollas Aglomeradas e Advantec. Na Figura 5.8 encontram-se resumidas as entradas e saídas deste processo, bem como as variáveis e condições operatórias que têm influência no mesmo.

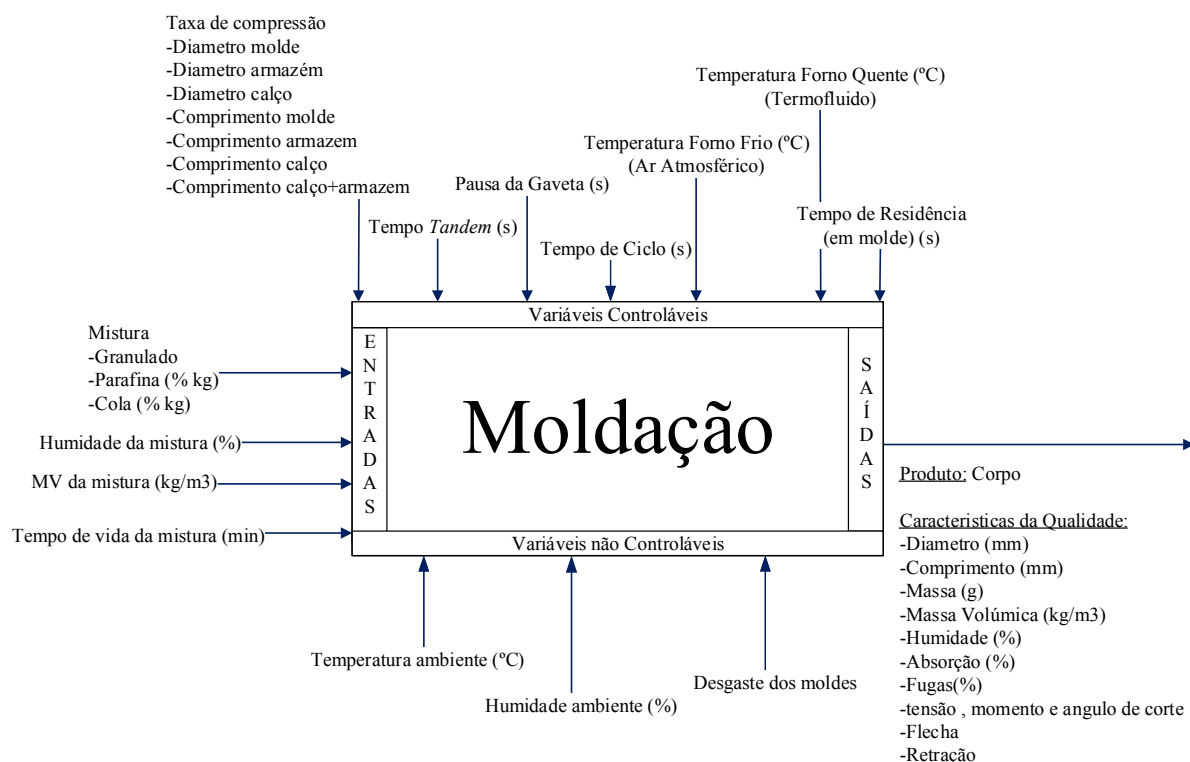


Figura 5.8 - Esquema representativo das principais entradas e saídas, bem como das variáveis e condições operatórias, do processo de Moldação.

5.3.1 Descrição do Processo

Cada moldadora possui 266 conjuntos de moldes (ou tabuleiros), sendo que cada um permite produzir 44 corpos. As moldadoras 1 e 2, situadas na Fábrica TT, encontram-se representadas na Figura 5.9.



Figura 5.9 – Moldadoras 1 e 2 (localizadas na Fábrica TT).

O granulado é alimentado a um Tegão de Alimentação, que atua como *buffer*, de maneira semelhante ao processo de Extrusão, de seguida este é alimentado à Misturadora Superior. A pesagem do granulado neste processo é efetuada na Misturadora uma vez que esta se encontra assente numa balança.

Após a adição do granulado, é adiciona água de acordo com a humidade do granulado e humidade da mistura pretendida. De seguida são adicionados os compostos químicos cola e parafina pela ordem referida, Tabela 5.4. As misturas no processo de Moldação são efetuadas com uma quantidade significativamente menor de granulado (40kg) e não requerem a utilização de látex, sendo estas diferenças relevantes face ao processo de Extrusão.

Tabela 5.4 - Receitas utilizadas no processo de Moldação e tempos mínimos de mistura

Ingredientes	% de Massa de Granulado	Tempo Mínimo (s)	Massa Volúmica (kg/m³)
Granulado	-	10	Variável
Água	Consoante acerto de humidade	100	1000
Cola	15%	180	1060
Parafina	2%	70	864

A água e parafina estão contidos em tanquetas, assentes em balanças localizados junto da moldadora, uma vez que as quantidades utilizadas são significativamente menores do que as utilizadas no processo de Extrusão. Este método permite minimizar o erro de medição. A adição de cola é semelhante ao processo de Extrusão.

Após a conclusão da mistura, esta é transferida para uma segunda misturadora, Misturadora Inferior representada na Figura 5.10, encarregue de armazenar e descarregar a mistura para a Moega de Abastecimento.

A Misturadora Superior inicia nova mistura no momento em que toda é alimentada à Misturadora Inferior.



Figura 5.10 – Moldação: Misturadora Superior e Misturadora Inferior situadas acima da zona de prensagem.

A Moega de Abastecimento (dividida em duas zonas) fornece a Gaveta de Alimentação. Esta tem como função transferir o granulado para os armazéns, passando por cima dos mesmos e voltando à posição inicial para que possa ser novamente alimentada.

Tanto a Misturadora Inferior, como a Moega de Abastecimento e a Gaveta de Alimentação estão equipadas com agitadores permitindo uma maior homogeneidade da mistura e evitando uma aglomeração prematura. Na Figura 5.11 encontra-se representado o percurso do granulado desde o Tegão de Alimentação até à sua inserção nos armazéns.

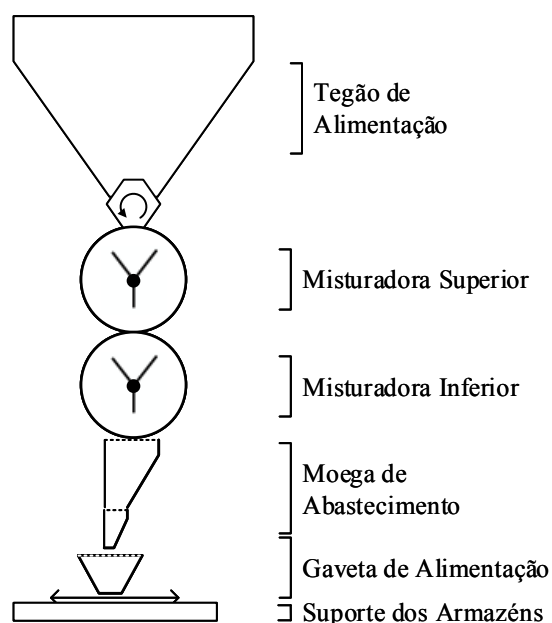


Figura 5.11 – Moldação: Representação esquemática do percurso do granulado desde o Tegão de Alimentação até à sua inserção nos armazéns.

Após o enchimento dos armazéns dá-se a prensagem da mistura nos moldes por ação do movimento ascendente do suporte dos moldes e descendente dos pistões de prensagem, zona de prensagem. No

momento em que os moldes fecham dá-se o regresso dos pistões à posição inicial e inicia-se o movimento da corrente que transporta os moldes. Os moldes passam de seguida por um processo de cozedura que inclui a passagem pelas várias zonas da moldadora, Figura 5.12.

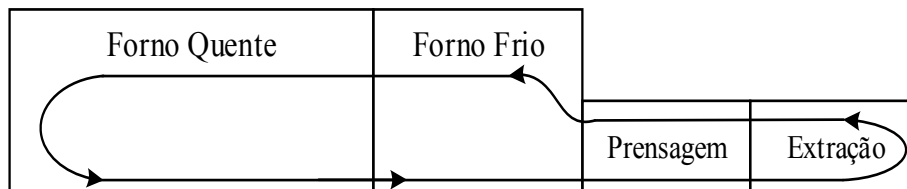


Figura 5.12 – Moldação: Esquema representativo da do percurso efetuado pelos moldes em cada ciclo.

Após o término do ciclo completo, os moldes são abertos e os corpos são extraídos por ação de um segundo conjunto de pistões, zona de extração.

As moldadoras estão equipadas com aspiradores que facilitam a remoção de granulado em excesso (desperdício).

5.3.2 Condições Operatórias

Tempo de Ciclo (s)

Por Tempo de Ciclo entende-se o intervalo de tempo em que se dá a extração dos corpos, na zona de extração, ao mesmo tempo que, na zona de prensagem, se dá o enchimento dos armazéns e o consequente enchimento dos moldes.

Um aumento do Tempo de Ciclo implica um maior Tempo de Residência dos corpos no interior dos moldes e um maior tempo de exposição dos mesmos às várias zonas do processo (Forno Frio, Forno Quente e Fora dos Fornos). Este aumento implica também uma menor produção (corpos por intervalo de tempo).

Este parâmetro é definido na máquina, no entanto, devido à configuração das condições operatórias Pausa da Gaveta e Tempo Tandem ou por limitações do sistema hidráulico que gere o movimento dos pistões, pode não ser alcançável.

O tempo de ciclo está definido para 9 segundos.

Pausa da Gaveta (s)

A Pausa da Gaveta representa o tempo em que a Gaveta de Alimentação se encontra posicionada acima do suporte de armazéns. Uma Pausa de Gaveta insuficiente implica que os armazéns não serão completamente cheios e como consequência os corpos terão uma massa inferior ao previsto.

A Pausa da Gaveta está definida para 0,3 segundos.

Tempo de Permanência *Tandem* (s)

Por *Tandem* entende-se uma compressão extra, por parte dos pistões na fase de prensagem, do granulado nos moldes. Este parâmetro pode estar ativo ou desativo.

É possível configurar o tempo de permanência do pisto no molde.

Quando este parâmetro está ativo o fenómeno de topos enviesados e o desperdício de granulado são minimizados (Pinto, 2016).

O Tempo de Permanência *Tandem* esta definido para 0,1 segundos.

Temperatura de Forno Quente (°C)

A Temperatura de Forno Quente é regulada através do termofluído proveniente da Secção Caldeiras.

Com o aumento da Temperatura de Forno Quente o comprimento do corpo aumenta (MEACCI, 2014).

A especificação deste parâmetro varia consoante o tipo de granulado. Está definida para 125°C para granulado RA e 115°C para granulado RCT.

Temperatura Forno Frio (°C)

A Temperatura de Forno Frio é regulada através de um sistema de ventilação de ar atmosférico, sendo que o sistema extrator se encontra junto do próprio Forno Frio. É portanto um parâmetro que pode apresentar limitações mediante a temperatura ambiente.

A especificação para granulado RA é de 45°C e para granulado RCT é de 35°C.

Taxa de Compressão

Razão entre o volume do armazém e o volume do molde. Uma vez que a inserção de mistura em cada molde é medida em função do volume de armazém, para uma mesma massa volúmica de granulado, quanto maior for a taxa de compressão maior será a massa dos corpos produzidos.

Este parâmetro é alterado através da utilização de calços que permitem alterar o comprimento dos armazéns. Também pode ser alterado através da modificação das dimensões dos moldes.

A Taxa de Compressão está configurada em 4,1 para a Moldadora 2 e 4,3 para a Moldadora 1.

5.3.3 Controlo de Processo

Limpeza/Manutenção

As moldadoras operam geralmente durante seis dias por semana, com arranque a cada segunda-feira.

A cada turno é efetuada a limpeza do Forno Frio da Moldadora. Esta limpeza implica a paragem da moldadora para abertura das portas do Forno Frio e consequente remoção do desperdício de granulado. Este é pesado e posteriormente registado. De realçar que o desperdício na moldadora é apelidado de “desperdício de granulado” mas na verdade trata-se de desperdício de mistura, ou seja de granulado e dos produtos químicos que lhe são adicionados na Misturadora.

No final de cada semana é efetuada a limpeza das misturadoras e da zona de prensagem/extração.

Um dos aspetos a ter em conta na manutenção da moldadora é o desgaste dos moldes. Os moldes utilizados no processo são teflonados com o propósito de minimizar o atrito provocado pelo movimento dos pistões no interior dos mesmos. O acumular de tempo de operação provoca um desgaste do teflonamento que por sua vez provoca um aumento de atrito. Este, tem como consequência a produção de corpos irregulares, ou mesmo abertos, e induz um esforço adicional por parte do sistema hidráulico que pode motivar uma paragem da moldadora por avaria.

Controlo de Entrada - Mistura

A fase de mistura no processo de Moldação apresenta diferenças significativas face ao processo de Extrusão. As misturadoras atuam de forma autónoma, não sendo necessária intervenção dos operadores para dar início a cada mistura.

É efetuado o controlo de humidade de granulado, ao contrário do processo de Extrusão, a água é adicionada automaticamente. A adição de água é conseguida através da configuração de dois campos: Humidade do Granulado e Humidade Alvo. O segundo campo encontra-se fixo em 11% enquanto o primeiro é controlado de 2 em 2 horas sendo ajustado em concordância com o controlo de humidade efetuado à entrada do processo. O campo Humidade do Granulado está fixo para $> 8\%$, assim o limite máximo de adição de água é de $+3\%$.

A adição de produtos químicos, com exceção da cola, é mais preciso devido à utilização de tanquetas de menor capacidade pelo que não é efetuada a verificação de Doseamento de Produtos Químicos.

Controlo de Saída – Corpos

O controlo à saída do processo de Moldação é efetuado, de duas em duas horas, através da análise de oito corpos por moldadora. São medidas as características comprimento, diâmetro, humidade, massa e massa volúmica.

São ainda efetuados, uma vez por turno, os ensaios de Absorção em Água, Teste da Bomba Hidrostática, Torção e Fervura.

5.3.4 Tempos de Processo

Para que seja possível a comparação entre os controlos efetuados ao granulado, à entrada do processo, e os controlos efetuados aos corpos, à saída, é necessário conhecer detalhadamente o funcionamento do processo, principalmente os tempos de cada etapa. Este conhecimento foi essencial para a elaboração e aplicação dos ensaios apresentados no Capítulo 6.

Entrada → Mistura

No processo de Moldação são utilizados granulados com duas proveniências: big-bags ou silos. Independentemente da proveniência, ambos passam por um Tegão de Alimentação que atua como *buffer* de entrada na Misturadora Superior.

Nos ensaios realizados, com granulado do tipo RA, foram utilizados big-bags com vista a permitir uma melhor monitorização das características do granulado de entrada e associação destas características às dos corpos produzidos.

Através da equação 5.2 é possível calcular o tempo necessário para consumo do granulado presente no Tegão de Alimentação, num big-bag ou em ambos.

$$t_{consumo\ i}(s) = \frac{V_i \times MV_{granulado}}{m_{granulado/mistura}} \times t_{consumo\ mistura} \quad (5.2)$$

Onde i representa: Tegão de Alimentação, big-bag ou Tegão de Alimentação e big-bag.

O parâmetro $t_{consumo\ mistura}$ será abordado de seguida.

Assim é possível relacionar um controlo à entrada do processo de Moldação, com o momento em que este é inserido na Misturadora Superior.

Outro indicador relevante para o planeamento dos protocolos realizados foi o número de misturas por big-bag, equação 5.3.

$$N^{\circ}misturas\ por\ i = \frac{V_i \times MV_{granulado}}{m_{granulado/mistura}} \quad (5.3)$$

Mistura → Prensagem

Os tempos de mistura são um parâmetro importante, uma vez que influenciam diretamente a variável tempo de consumo da mistura. No processo de Moldação é possível otimizar este parâmetro, minimizando o tempo de retenção da mistura na Misturadora Superior. A Tabela 5.5 resume os cálculos efetuados. Sempre que $t_{consumo\ de\ mistura} < t_{mistura}$ não surge granulado na fase de prensagem e são obtidos moldes vazios, situação que afeta a produção da Moldadora.

Tabela 5.5 - Resumo dos cálculos efetuados para determinação do Tempo de retenção na Misturadora Superior através do Tempo de mistura e do Tempo de consumo de mistura.

Tempo retenção na Misturadora Superior (s) = $t_{consumo\ de\ mistura}(s) - t_{mistura}(s)$	
$t_{mistura}(s) = \sum t_{mínimo\ de\ mistura\ ingrediente\ i} + t_{descarga\ mistura}$	
$t_{consumo\ de\ mistura}(s) = \frac{V_{total\ de\ mistura} \times t_{ciclo}}{L_{armazém} \times \left(\frac{D_{armazém}}{2}\right)^2 \times \pi \times N^o_{armazéns/extração}} + N^o_{moldes\ bloqueados} \times t_{ciclo}$	

O $t_{mistura}$, ou seja o tempo desde o momento em que a Misturadora Superior começa a descarga para a Misturadora Inferior até ao momento em que uma nova mistura se encontra pronta para nova descarga, é obtido através dos tempos mínimos de mistura configurados na moldadora, Tabela 5.4, e do tempo de descarga da mistura, tempo obtido através de medições efetuadas.

De realçar que o tempo mínimo de mistura é iniciado ao mesmo tempo que a inserção do ingrediente na mistura. O tempo de inserção de granulado é superior ao tempo mínimo registado na configuração pelo que é necessário somar a este valor o tempo: $t = \frac{m_{gran.}}{Q_{gran.}}$, em que $Q_{gran.} \approx 0,5kg/s$. Da mesma maneira, o tempo de inserção da cola pode ser superior ao tempo mínimo configurado, uma vez que o caudal de bombeamento de cola diminui á medida que a temperatura ambiente diminui.

Por $t_{consumo\ de\ mistura}$ entende-se o tempo desde que a mistura é totalmente descarregada para a Misturadora Inferior até que é totalmente consumida. Depende do Tempo de Ciclo, das dimensões dos armazéns, da eventual presença de moldes bloqueados e do volume total de mistura.

O volume total de mistura é calculado através da equação 5.4.

$$V_{total\ de\ mistura}(m^3) = \frac{\sum m_{ingrediente}}{\sum MV_{ingrediente}} \quad (5.4)$$

Sendo que dos ingredientes adicionados, a água, depende do acerto de humidade inserido na configuração da moldadora e da massa de granulado por mistura. A massa de água adicionada é calculada através da equação 5.5.

$$massa\ de\ água\ adicionada\ (g) = m_{granulado/mistura} \times H_{granulado} \times \left(\frac{H_{alvo}}{H_{granulado}} - 1 \right) \quad (5.5)$$

Em suma, para uma dada Taxa de Compressão, o tempo de retenção na Misturadora Superior depende de diversas variáveis. No entanto uma vez que as massas de produtos químicos dependem sempre da massa de granulado por mistura, esta é a variável controlável que pode ser utilizada de forma direta para alterar este parâmetro. A massa de granulado por mistura está configurada para 40 kg. Apesar de ser possível a sua otimização, a alteração deste valor não foi considerada porque, mediante variações no Tempo de Ciclo, nas quantidades de produtos químicos inseridos e na massa volúmica do granulado, pode afetar a produção da moldadora (um aumento de massa volúmica do granulado provoca uma diminuição do volume de mistura que por sua vez diminui o tempo de consumo de mistura e pode provocar a obtenção de moldes vazios).

Prensagem → Extração

Entre a fase de prensagem e a fase de extração, os moldes experienciam um ciclo atravessando as várias zonas da Moldadora. O Tempo de Residência no processo de Moldação refere-se ao tempo de um ciclo completo dos moldes. Este depende apenas da condição operatória Tempo de Ciclo e do número de conjuntos de moldes, equação 5.10 (o denominador deve-se ao facto de serem extraídos dois conjuntos de moldes por extração).

$$Tempo\ de\ Residência\ (s) = \frac{t_{ciclo} \times número\ de\ moldes}{2} \quad (5.10)$$

Sabendo o número de moldes em cada zona da Moldadora, é possível calcular o Tempo de Residência correspondente (para determinado Tempo de Ciclo). A Tabela 5.6 evidencia estes dados para um Tempo de Ciclo de 9 segundos. No Capítulo 7.5 é analisada a influência do Tempo de Residência em cada zona da Moldadora.

Tabela 5.6 - Tempos de Residência dos moldes por zona da moldadora.

Zona da Moldadora	Moldes	Tempo de Residência (min)	Percentagem do Tempo de Residência Total
Fora dos Fornos Entrada	6	0,5	2%
Forno Frio Entrada	20	1,5	8%
Forno Quente	190	14,3	71%
Forno Frio Saída	26	2,0	10%
Fora dos Fornos Saída	24	1,8	9%
Total	266	20,0	-

Resumo de Tempos de Processo

Tal como discutido, os tempos das várias fases do processo de Moldação dependem de diversas variáveis e condições operatórias. Na tabela 5.7 encontra-se um resumo dos tempos de processo de Moldação para as condições médias de humidade e massa volúmica do granulado do ano de 2016, (analisados no Capítulo 5.1-Comparação – Matéria-prima). O cálculo foi efetuado para a moldadora 2 sendo ainda assumidos: Taxa de Compressão= 4,1; Tempo de Ciclo= 9 segundos; e sem presença de moldes bloqueados.

Tabela 5.7 - Resumo dos Tempos de Processo verificados para o processo de Moldação.

Fases de Processo	Big-bag (min)	Big-bag e Tegão de Alimentação (min)
Entrada → Mistura	80	129
Mistura → Prensagem		13
Prensagem → Extração		20
Intervalo de Produção	[33-113]	[82-162]

A análise aos tempos de processo apenas com a introdução de big-bag, ou seja com o Tegão de Alimentação vazio, foi essencial para a realização dos ensaios desenvolvidos.

Dado que o Tegão de Alimentação atua como *buffer* de alimentação à moldadora, este encontra-se geralmente cheio. Por conseguinte, esta é a situação mais frequente em produção contínua da moldadora e mais útil para análise dos dados do controlo de processo. Tendo em conta os pressupostos assumidos para o cálculo da Tabela 5.7 o granulado analisado à entrada da Moldação, é extraído, sob a forma de corpos de cortiça, após 82 minutos.

5.3.5 Indicadores de Produção

Os cálculos anteriores permitem prever indicadores importantes bem como caracterizar a sua sensibilidade a variações das condições operatórias e variáveis do processo. Exemplos de indicadores de produção são o número de corpos ou o número de extrações por mistura (equação 5.6 e 5.7).

$$n^{\circ}\text{corpos}/\text{mistura} = \frac{V_{\text{Total}}}{V_{\text{armazém}}} \quad (5.6)$$

$$n^{\circ}\text{extrações}/\text{mistura} = \frac{n^{\circ}\text{corpos}/\text{mistura}}{2 \times N^{\circ}_{\text{corpos/molde}}} \quad (5.7)$$

Também é possível prever características dos corpos, como a massa dos corpos produzidos (equação 5.8). De realçar que a massa de cada corpo é determinada pela quantidade de mistura introduzida no seu molde na fase de prensagem que por sua vez é determinada pelo volume de armazém e pela massa volúmica do próprio granulado. Este método introduz variabilidade no processo associada à heterogeneidade da massa volúmica do granulado e da própria mistura, que não garante que em cada prensagem seja introduzida exatamente a mesma massa nos 88 moldes.

$$massa\ dos\ corpos = MV_{mistura} \times V_{armazém} \quad (5.8)$$

Na Tabela 5.8 encontram-se alguns indicadores de produção calculados com base nos pressupostos referidos.

Tabela 5.8 - Indicadores de Produção do processo de Moldação.

Indicador	Valor
Nº misturas por big-bag	6,3
Nº de extrações por mistura	85
Nº de misturas por hora	4,7
Nº de corpos por mistura	7.482
Nº de corpos por hora	35.200
Nº de corpos por dia	844.800
Nº de cestos por turno*	4,7

*Base: nº corpos por cesto= 60.000

5.4 Comparação – Respostas dos corpos

Com vista à comparação das respostas dos corpos obtidos por Moldação e Extrusão procedeu-se à análise dos dados históricos do ano de 2016. Foram analisados dois indicadores importantes dos processos de aglomeração: a produção de produtos não conformes, defeitos, e a qualidade dos corpos produzidos, absorção.

5.4.1 Defeitos

Os produtos não conformes verificados na escolha acarretam um custo operacional e de gestão (Delgado, 2014). Rolhas defeituosas, com exceção das classificadas como lenhas, podem ser reprocessadas para originar produtos de calibre inferior. No entanto este reprocessamento significa um custo de reprocessamento das rolhas nas etapas de retificação, lavação e escolha e um custo acrescentado de matéria-prima por rolha. Além disso, significa a produção de rolhas que, na generalidade das ocasiões, não são requisitadas e retira capacidade de produção das etapas necessárias para o reprocessamento.

Os tipos de efeitos verificados podem ser relacionados com as etapas do processo produtivo. Assim, por exemplo os defeitos costa e corpo estranho estão relacionados com a matéria-prima e os defeitos sem chanfro, chanfro errado ou rolha cortada estão relacionados com a etapa de retificação.

Foi realizada uma análise aos dados históricos das rolhas produzidas a partir de granulado do tipo RA, rolhas aglomeradas. Os defeitos encontrados neste tipo de rolhas são em grande parte relacionados com os processos de aglomeração. Em oposição, os defeitos encontrados em rolhas TT estão muito dependentes da qualidade dos discos e da etapa de colagem.

Na Figura 5.13 encontram-se os gráficos de pareto dos principais defeitos encontrados nos processos de Moldação e Extrusão.

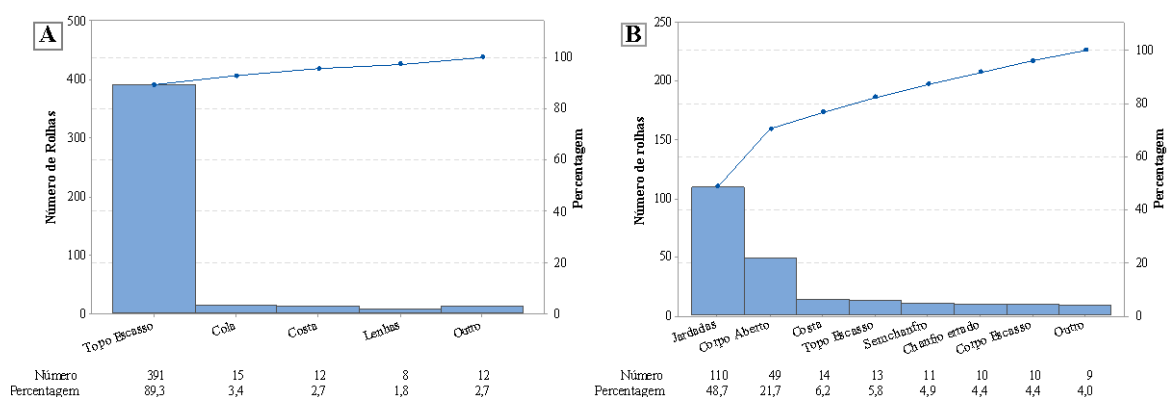


Figura 5.13 – Gráficos de pareto do número de defeitos verificados na produção de rolhas aglomeradas pelos processos de Moldação (A) e Extrusão (B).

Das rolhas analisadas verifica-se uma percentagem semelhante de produtos não conformes para os dois processos: 16% em 2700 rolhas verificadas para o processo de Moldação e 11% em 2000 rolhas verificadas para o processo de Extrusão.

Em relação aos defeitos encontrados, o processo de Moldação apresenta um tipo de defeitos que se destaca em relação aos restantes: topo escasso. Este corresponde a aproximadamente 89% dos defeitos observados. De seguida, verificam-se os defeitos cola e costa. O defeito cola deve-se à acumulação de cola nas pás das misturadoras, que, com o aumento do tempo de operação, se pode soltar e ser encaminhada para o interior dos moldes.

No processo de Extrusão verifica-se um maior número e variabilidade de defeitos, sendo que os três principais são: rolhas jardadas, corpo aberto e costa. O defeito rolha jardada é um defeito que se origina na etapa de lavagem, através da oxidação do látex que se encontra na superfície da rolha. Trata-se de um defeito restrito ao processo de Extrusão uma vez que na Moldação não é utilizado o composto látex. O defeito corpo aberto é um defeito originado por uma etapa de secagem abrupta e/ou excessiva, enquanto o defeito costa é classificado como um defeito da matéria-prima, sendo comum aos dois processos.

Desta análise retiram-se conclusões importantes. O processo de Moldação produz menos tipos de defeitos do que o processo de Extrusão. O principal defeito do processo de Moldação deve-se apenas a um déficit de dimensão dos corpos: topo escasso.

Assim, por um lado, caso se proceda à correção dos parâmetros de processo, com vista a aumentar o comprimento dos corpos, não haverão defeitos consideráveis provenientes de Moldação. Por outro lado, o objetivo de diminuição do consumo de granulado pode ser comprometido, uma vez que a diminuição de massa por corpo pode implicar a diminuição das suas dimensões.

5.4.2 Absorção

O parâmetro de absorção é uma medida da qualidade das rolhas. Na UI-Equipar, rolhas com valores de absorção superiores a 45% são segregadas.

Foi realizada uma análise aos valores de absorção em água verificados no ano de 2016 para os processos de Moldação e Extrusão. A Figura 5.14 resume os resultados obtidos. Os dados apresentados referem-se às médias dos valores mínimos, médios e máximos verificados em cada semana do ano de 2016. Para o processo de Extrusão foram consideradas rolhas produzidas na Linha 1 da fábrica AGLO, com granulado do tipo RA sem ROSA[®]. Para o processo de Moldação, devido ao reduzido número de medições registadas para granulado RA (sem ROSA[®]), foram consideradas rolhas produzidas na moldadora 2 com granulado do tipo RA com e sem passagem pelo processo ROSA[®]. De realçar que, para medição dos valores de absorção em água apresentados, os corpos são apenas ponçados.

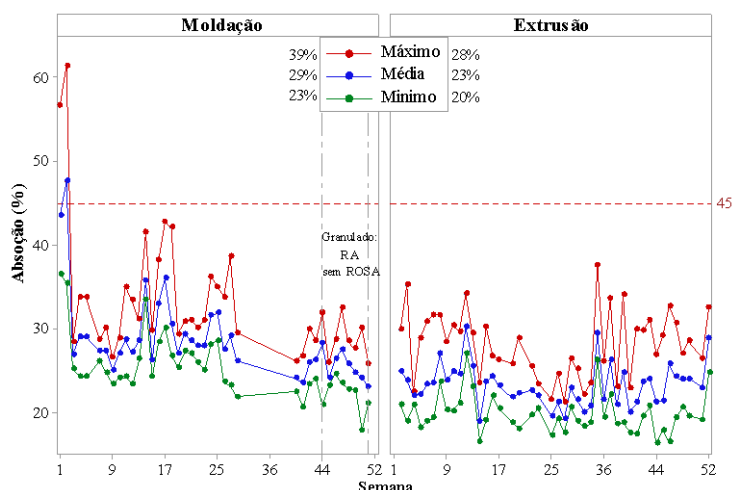


Figura 5.14 - Valores de Absorção em água verificados para os processos de Moldação e Extrusão no ano de 2016 (encontram-se identificados no gráfico os dados referentes ao granulado RA sem passagem pelo sistema ROSA[®]).

O processo de Moldação apresenta valores de absorção superiores aos apresentados pelo processo de Extrusão. Para um intervalo de confiança de 95%, a média de absorções para o processo de Moldação situa-se entre [27,8-30,2] % enquanto que para o processo de Extrusão se situa entre [23,0-24,6] %.

Todos os valores se encontram dentro de especificação com exceção de medições referentes a corpos produzidos por Moldação na primeira semana de 2016. O decréscimo dos valores de absorção verificado é coincidente com uma ação de melhoria, realizada na moldadora, relacionada com a melhoria do sistema de bombeamento de cola e com a aplicação da condição operatória Tempo de Permanência *Tandem*.

Foram analisados isoladamente os valores de absorção obtidos pelo processo de Moldação com granulado do tipo RA sem ROSA®. O objetivo desta análise foi o de aferir sobre potenciais fatores que tenham influência no parâmetro de absorção.

A Figura 5.15 ilustra os resultados verificados, através da representação da absorção das rolhas em função da sua massa. Os valores de massa encontram-se agrupados por ordem crescente, de “a” a “f”.

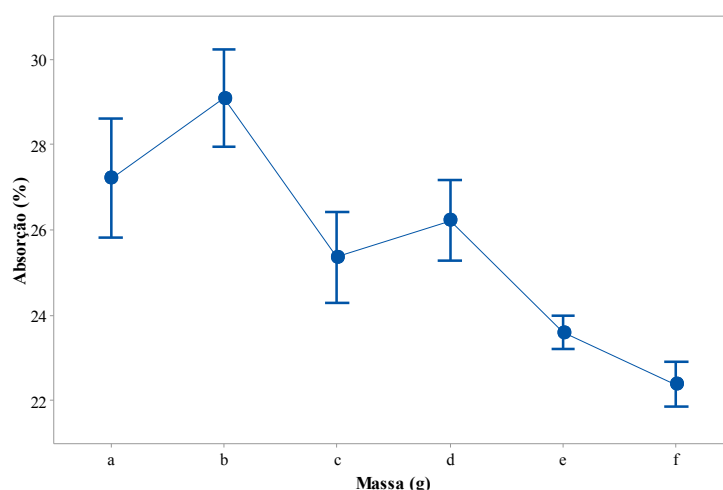


Figura 5.15 – Relação entre a Absorção dos corpos de Moldação e a sua massa. Os valores de massa encontram-se agrupados.

Constata-se uma tendência de diminuição dos valores de absorção com o aumento de massa das rolhas. No entanto, nesta análise são comparadas as massas das rolhas ponçadas com os seus valores de absorção, não sendo possível determinar a relação entre as características iniciais dos corpos e a sua qualidade (absorção).

Nos ensaios realizados ao longo da dissertação, os corpos foram sempre medidos no instante inicial (tempo 0 horas) e após estabilização (tempo 24 horas). O parâmetro de absorção foi analisado após retificação destes corpos para as dimensões 38x24. Por conseguinte, foi possível relacionar as características dos corpos após extração com os seus valores de absorção após retificação (rolhas) e aferir acerca da veracidade da tendência apresentada.

6 Materiais e Métodos

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados na presente dissertação.

Os ensaios foram realizados no contexto industrial, na Moldadora 2 da Fábrica TT. Foi estudado o granulado do tipo RA.

No primeiro ensaio realizado foi também estudada a Moldação de granulado RA ROSA® e a Extrusão (Linha 1 da fábrica AGLO) de granulado RA com o objetivo de poder tecer comparações entre os processos de aglomeração e o tipo de granulado.

Em adição aos materiais e métodos apresentados foram também utilizados ao longo do projeto os *softwares* de Controlo Estatístico e de Controlo de Qualidade: *Egitron SPC Pro* e *Egitron Controlab*, respetivamente. Estas ferramentas foram importantes para a recolha e análise de resultados bem como para análise de dados históricos.

Todos os protocolos apresentados foram efetuados segundo o funcionamento da fábrica, sem interferência com a produção.

6.1 Medição de Características do Granulado

Foram utilizados os seguintes métodos para caracterização do granulado utilizado nos ensaios realizados.

6.1.1 Massa Volúmica

A massa volúmica aparente do granulado foi medida através da Norma NP 605, fixada com o objetivo de uniformizar a medição desta característica nas várias etapas do processo e entre as diferentes UI do grupo Amorim. Na Figura 6.1 estão identificados os materiais utilizados.

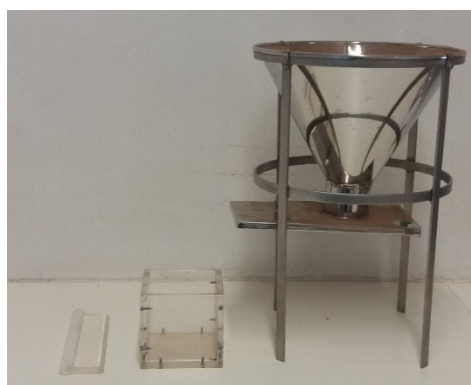


Figura 6.1 - Materiais utilizados para medição da Massa Volúmica. Da esquerda para a direita: raseira, recipiente de 1 litro e tremonha cônica de fundo amovível.

Material e Reagentes:

- Tremonha cônica de fundo amovível;
- Recipiente de 1 litro;
- Raseira;
- Balança sensível a 0,01 gramas.

Procedimento:

1. Verter a amostra para a tremonha de fundo cônica amovível, fechado;
2. Colocar o recipiente de 1 litro sob o fundo;
3. Abrir o fundo da tremonha e deixar cair o granulado para o recipiente;
4. Com o auxílio da raseira, nivelar o granulado com as paredes do recipiente;
5. Pesar o recipiente, previamente tarado.

6.1.2 Humidade

Para medição da humidade do granulado foram utilizados dois aparelhos distintos, Figura 6.2.

Os dados apresentados referem-se a medições executadas através da balança Mettler Toledo MJ33.

O aparelho de medição *AquaBoy* é um equipamento portátil que permite a medição de granulado de forma expedita mas com menor precisão, este foi utilizado para identificar o granulado pretendido-medições preliminares.

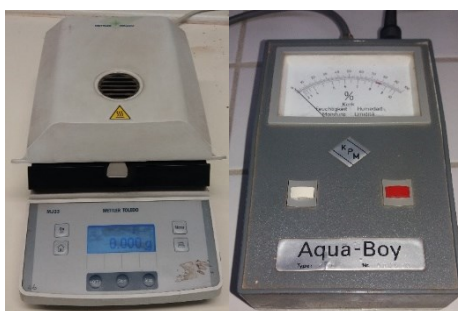


Figura 6.2 - Aparelhos utilizados para medição da Humidade do granulado. À esquerda: Balança Mettler Toledo MJ33, à direita: Aquaboy.

6.2 Medição de Características das Rolhas

A medição das características físicas das rolhas foi conseguida através do aparelho de medição MedCork enquanto a qualidade das rolhas foi avaliada através da Absorção em Água.

6.2.1 Aparelho de Medição *MedCork*

O MedCork é um aparelho de medição desenvolvido especificamente para a Indústria Corticeira.

Este aparelho foi utilizado para a medição das características físicas das rolhas. Trata-se de um sistema inteligente e automático que permite a medição do comprimento (L), diâmetro (D), ovalidade, humidade (H), massa (m) e massa volúmica (MV) das rolhas, cumprindo com técnicas metrológicas rigorosas e com as normas existentes (EGITRON, 2008).

As principais vantagens deste sistema de medição são a eliminação dos erros associados do manuseamento de aparelhos de medição convencionais e o seu funcionamento integrado com os *softwares Egitron SPC Pro e Egitron Controlab*.

O MedCork SAR-2011-01, representado na Figura 6.3, foi utilizado nos ensaios efetuados para medição das características descritas. A fiabilidade deste aparelho foi testada e aprovada na UI-Equipar em Setembro de 2016 (Pinto, 2016). De realçar que a medição da humidade foi limitada pelo próprio limite superior de leitura do aparelho (10,7%).



Figura 6.3 - Aparelho de medição das características das rolhas: Medcork.

6.2.2 Absorção em Água

O ensaio de absorção em água é utilizado pelas várias UI do grupo Amorim para determinação da quantidade água absorvida por rolhas de cortiça. O valor obtido é um parâmetro importante para avaliar a qualidade de aglomeração das rolhas. Na UI-Equipar este ensaio é efetuado em rolhas recolhidas das várias etapas do processo através da norma interna ME.DQL.4.6.

Material e Reagentes:

- Balança Analítica com resolução 0,001g (Kern 770) (Figura 6.4);
- Recipiente para conter corpos/rolhas;
- Estufa regulável a $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ (EN 120 Incubator – Niive);
- Papel de filtro;
- Água destilada.

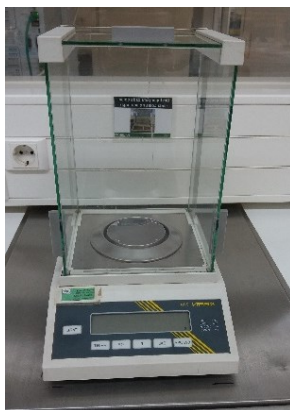


Figura 6.4 - Balança Analítica Kern 770.

Procedimento:

1. Numerar os corpos;
2. Pesar os corpos individualmente (m_i);
3. Colocar os corpos em recipientes;
4. Imergir as rolhas em água destilada garantido que todas se encontram totalmente submersas;
5. Colocar o recipiente na estufa a 50°C durante 72 horas;
6. Após este período, retirar os corpos do recipiente e colocá-los de topo sobre papel de filtro. Colocar também papel de filtro por cima e aguardar 30 minutos;
7. Decorridos os 30 minutos voltar a pesar as rolhas individualmente (m_f);
8. Calcular a percentagem de água absorvida através da fórmula 6.1.

$$\% \text{ Absorção} = \left(\frac{(m_f - m_i)}{m_i} \right) \times 100 \quad (6.1)$$

Onde m_i representa a massa inicial e m_f a massa final.

Ao longo dos estudos apresentados o Ensaio de Absorção foi realizado em rolhas retificadas, após um tempo de estabilização de 24 horas, para as dimensões 38x24.

6.3 Análise Estatística

Para a análise dos dados obtidos nos ensaios descritos foram utilizados, entre outros, os conceitos expostos no capítulo 4.5-Inferência Estatística: Teste de Hipóteses.

Para aplicação dos testes de hipóteses referidos foi utilizado o *software* de análise estatística *Minitab*. De realçar que os dados analisados são quantitativos e contínuos e os testes de hipóteses foram aplicados para um intervalo de confiança de 95%. Os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram garantidos através dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene, respetivamente.

6.4 Estudo do Comportamento dos corpos após Extração

Os corpos apresentam uma variação das suas características após a sua extração dos processos de aglomeração. É importante caracterizar quais as principais alterações e de que variáveis dependem.

6.4.1 Retração dos Corpos após Extração

A variação das características dimensionais dos corpos, comprimento e diâmetro, foi apelidada de retração. Neste estudo foram analisados corpos produzidos por Extrusão (granulado RA) e Moldação (granulado RA e RA ROSA®) com vista a caracterizar o fenómeno de retração, e analisar o comportamento dos corpos provenientes dos dois processos.

Foram realizados dois ensaios, representados na Figura 6.5. O Ensaio 1, com menor dimensão amostral e menor intervalo entre medições, e o Ensaio 2, com uma representação amostral mais significativa e com um intervalo entre medições superior.

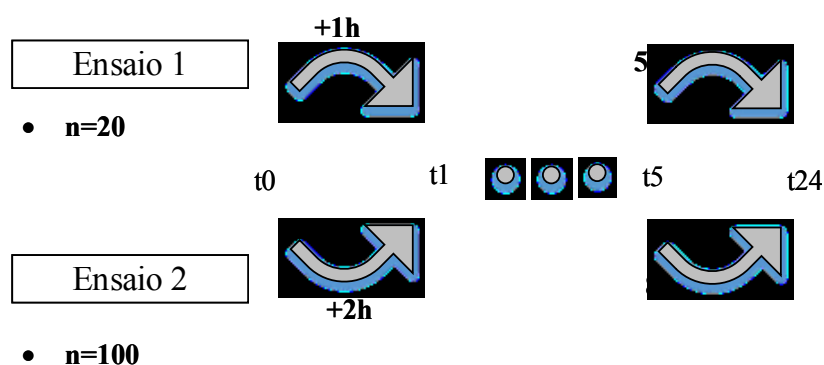


Figura 6.5 - Representação Esquemática dos Ensaios desenvolvidos para análise da Retração dos Corpos após Extração.

Objetivos:

- Caracterizar a velocidade de retração dos corpos em função do tempo;
- Caracterizar e comparar o comportamento dos corpos produzidos por Moldação e Extrusão;

Protocolo

1. Verificar e registar as variáveis e condições operatórias do processo;
2. Recolher n corpos á saída do processo e numerá-los;
3. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), a humidade, massa e massa volúmica;
4. Repetir o passo 3 cinco vezes de t em t hora;
5. Repetir o passo 3 após 24 horas.

6.4.2 Influência da Temperatura Ambiente na Retração

Este estudo visa completar o anterior com o propósito de aprofundar o conhecimento acerca da retração, mais concretamente sobre a possível influência da temperatura ambiente neste fenómeno.

A Figura 6.6 representa o protocolo efectuado. Foi utilizada a estufa regulável EN 120 Incubator – Niive e o frigorífico LG – Express Cool.

De realçar que foram realizadas duas réplicas: Turno 1, iniciada às 00:00h e Turno 2, iniciada às 08:00h.

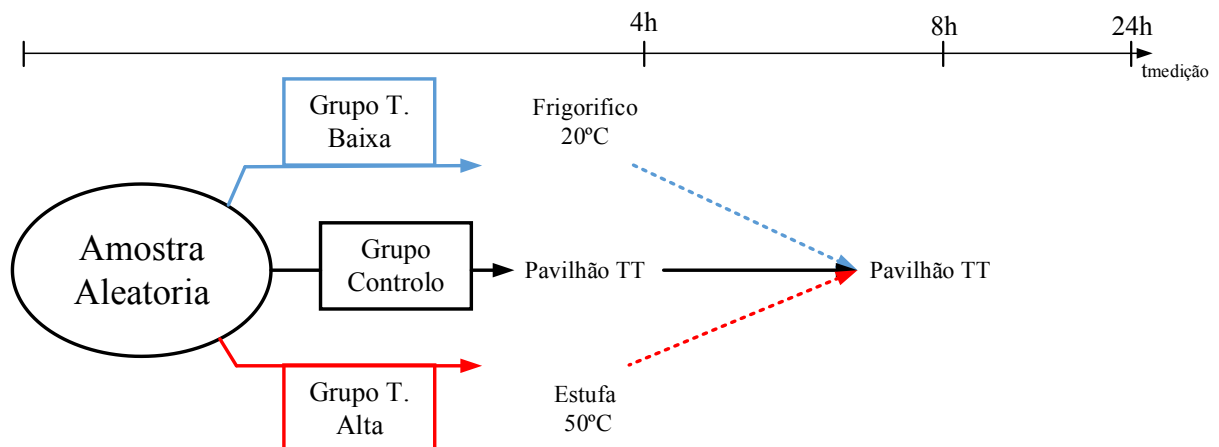


Figura 6.6 - Representação Esquemática do Protocolo Efectuado no Estudo da Influencia da Temperatura Ambiente na Retração.

Objetivo:

- Caracterizar a influência da temperatura ambiente na retração dos corpos de Moldação.

Protocolo:

1. Verificar e registar as variáveis e condições operatórias do processo;
2. Retirar uma amostra de 150 corpos á saída do processo de Moldação;
3. Dividir, aleatoriamente, a amostra em três grupos distintos:
 - Grupo Controlo;
 - Grupo Temperatura Baixa (20°C);

- Grupo Temperatura Alta (50°C).
- 4. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), a humidade, massa e massa volúmica;
- 5. Colocar os corpos nas condições de temperatura pré-definidas;
- 6. Após 4 horas, retirar os corpos das condições de Temperatura controladas e repetir o ponto 4;
- 7. Colocar os corpos nas condições do Grupo Controlo;
- 8. Repetir o ponto 4 nos tempos 8 horas e 24 horas após extração.

6.4.3 Análise da Variação de Massa Volúmica ao longo das etapas do Processo

Foram desenvolvidos ensaios com a finalidade de caracterizar a influência de cada etapa do processo produtivo na massa volúmica dos corpos. Os resultados obtidos foram comparados com uma análise aos dados históricos do ano de 2016.

Objetivo:

- Caracterizar a variação da característica massa volúmica dos corpos de Moldação entre o início e o fim do processo produtivo.

• Retração

Protocolo:

1. Retirar uma amostra à saída do processo de Moldação;
2. Numerar os corpos;
3. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica;
4. Repetir o ponto 3 após 24 horas.

• Retificação

Protocolo:

1. Retirar uma amostra que tenha sido sujeita a um tempo de estabilização de 24 horas;
2. Numerar os corpos;
3. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica;
4. Ponçar, topejar e chanfrar (chanfro 2mm) os corpos para calibre 38x24;
5. Repetir o ponto 3.

- **Lavação**

Protocolo:

1. Retirar uma amostra á entrada do processo de Lavação;
2. Numerar os corpos;
3. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica;
4. Colocar a amostra num saco de rede e inserir o conjunto num programa de Lavação Industrial;
5. Retirar o saco contendo a amostra após conclusão da Lavação;
6. Repetir o ponto 3.

- **Chanfro**

Protocolo:

1. Retirar uma amostra na etapa de retificação antes do processo de chanframento;
2. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica;
3. Chanfrar as rolhas (2mm);
4. Repetir o ponto 2.

6.5 Estudo da Variabilidade de Massa

Este estudo foi motivado pela correlação verificada entre a massa dos corpos e as suas dimensões. Os ensaios desenvolvidos prendem-se com a hipótese de ocorrer uma diferença estatisticamente significativa entre as extremidades dos moldes (Início e Fim), Figura 6.7.



Figura 6.7 - Posições dos moldes analisadas no Estudo da Variabilidade de Massa.

Objetivos:

- Diminuir a variabilidade da massa presente nos corpos de maneira a diminuir a variabilidade das dimensões;
- Verificar a ocorrência de uma variabilidade significativa de massa entre as extremidades dos moldes;
- No caso de um resultado positivo:
 - Identificar uma ação de melhoria;
 - Repetir o estudo.

Protocolo:

1. Verificar e registrar as variáveis e condições operatórias do processo;
2. Retirar 10 corpos de cada conjunto de moldes (no tapete de extração), 5 do início e 5 do fim do tapete;
3. Marcar os corpos consoante o seu molde e a sua localização no molde;
4. Repetir os dois passos anteriores para 20 conjuntos de moldes;
5. Medir a massa dos corpos.

6.6 Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado

A variável humidade tem uma importância significativa nos processos de aglomeração. Neste ensaio são caracterizadas a humidade intrínseca e extrínseca do granulado. Foram desenvolvidos ensaios com a finalidade de controlar as restantes variáveis e condições operatórias do processo.

Foram realizadas seis réplicas do protocolo descrito, em cada ensaio é utilizado um big-bag, caracterizado em relação à humidade e massa volúmica do granulado. Para cada big-bag são realizadas quatro misturas com diferentes adições de água, Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Adição de água para as quatro misturas realizada em cada ensaio.

Mistura	Adição de Água
1	0%
2	1%
3	3%
4	5%

Objetivos:

- Caracterizar a influência das variáveis humidade intrínseca e humidade extrínseca do granulado nas seguintes características dos corpos:
 - Expansão;
 - Retração;
 - Humidade;
 - Absorção.

Protocolo:

1. Identificar um big-bag de granulado RA na secção Trituração com as condições de humidade e massa volúmica pretendidas;
2. Caracterizar as condições de humidade e massa volúmica do granulado em três posições distintas do big-bag: início, meio e fim;
3. Parar e escoar o fornecimento de granulado ao Tegão de Alimentação;
4. Introduzir o big-bag na Trolha de Alimentação no momento em que a Misturadora Superior requisitar adição de granulado, desprezar esta mistura;
5. Alterar os parâmetros de adição de água à mistura;
6. Registrar a adição de compostos;
7. Registrar a posição do molde no momento em que a mistura é descarregada para a Misturadora Inferior;
8. Pedir Aviso na Extração de molde para o nº de molde que se situa após 15 extrações;
9. Após o alarme de aviso de Extração, retirar uma amostra de 60 corpos e numerá-los;
10. Medir a humidade de 10 corpos e as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica de 50;
11. Repetir o ponto anterior após 24 horas;
12. Retificar os corpos para as dimensões 38x24;
13. Realizar o ensaio de Absorção em água;
14. Repetir a sequência (5-13) para quatro misturas consecutivas, Tabela 6.2 (os tempos entre extração e medição terão de ser iguais entre todas as misturas);
15. Repetir a sequência (1-14) para big-bags de humidades diferentes e massas volúmicas idênticas.

6.7 Estudo da Variável Temperatura de Reação

Dada a importância da temperatura de reação nos processos de aglomeração, foram desenvolvidos ensaios com vista a caracterizar esta variável nas várias fases do processo de Moldação e com vista a analisar a sua variabilidade.

6.7.1 Caracterização das Temperaturas de Reação

A caracterização das temperaturas de reação experienciadas pelos corpos nas várias fases do Ciclo Completo foi conseguida através do Termo higrómetro, ou sonda, *IButton* que realiza medições de temperatura espaçadas no tempo. Esta foi acoplada ao exterior de um conjunto de moldes com vista a obter uma representação, a mais aproximada possível, da temperatura sentida pelo granulado dentro dos

moldes. Na Figura 6.8 encontra-se a sonda nas fases de programação e recolha de dados (medição de temperaturas).

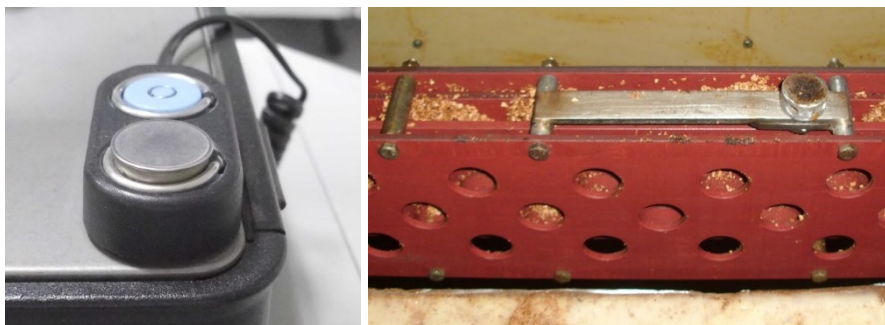


Figura 6.8 - Sonda de Temperatura IButton inserida no adaptador para programação ou extração de dados (à esquerda) e presa ao suporte e acoplada a um conjunto de moldes para recolha de dados (à direita)

Objetivos:

- Caracterizar as temperaturas de reação por zona da Moldadora;
- Verificar a coerência entre as medições das sondas dos Fornos e a temperatura real de reação.

Protocolo:

1. Colocar a sonda no adaptador;
2. Executar o *software OneWireViewer*;
3. Programar a sonda, escolhendo a unidade de medição de temperatura (°C), o momento de início de recolha de dados e o intervalo entre os dados recolhidos (30 segundos);
4. Colocar a sonda no calibre metálico, presa ao suporte, acoplado a um dos moldes;
5. Após conclusão das medições, voltar a colocar a sonda no adaptador, e recolher os dados medidos.

6.7.2 Análise de Variabilidade da Temperatura de Reação

Neste estudo é analisada a hipótese da variabilidade nas temperaturas de reação ser justificada pela oscilação da Temperatura do Forno Frio. Esta é regulada através de ventilação de ar ambiente, pelo que se encontra-se limitada pelas condições atmosféricas.

As temperaturas da moldadora foram analisadas durante dois dias de produção para cada um dos valores distintos do set-point da Temperatura de Forno Frio definidos: 45°C e 60°C.

Objetivo:

- Aferir a variabilidade introduzido pela condição operatória Forno Frio nas temperaturas de reação verificadas nas várias zonas da moldadora.

Protocolo:

1. Definir a Temperatura de Forno Frio para o set-point 45°C;
2. Seguir o protocolo do estudo 6.7.1-Characterização das Temperaturas de Reação;
3. Registrar eventuais paragens da moldadora por avaria e mudanças do tipo de granulado alimentado (quando são produzidos corpos RCT, as temperaturas de set-point de Forno Quente e de Forno Frio são inferiores);
4. Repetir os passos 1-3 para um novo set-point da Temperatura de Forno Frio: 60°C.

6.7.3 Estudo da Condição Operatória Temperatura de Forno Frio

Após aferição da variabilidade induzida pela Temperatura de Forno Frio foram realizados ensaios com vista a analisar a influência desta variabilidade nas características dos corpos produzidos.

Foi utilizado apenas um big-bag, caracterizado em três pontos distintos, início, meio e fim, em relação à humidade e massa volúmica do granulado.

Objetivos:

- Caracterizar a influência da Condição Operatória Forno Frio nas seguintes características dos corpos:
 - Expansão;
 - Retração;
 - Humidade;
 - Absorção.

Protocolo:

1. Colocar o parâmetro de Temperatura de Forno Frio no set-point pretendido para a primeira mistura;
2. Identificar um big-bag de granulado RA na Secção Trituração com as condições de humidade e massa volúmica pretendidas;
3. Caracterizar as condições de humidade e massa volúmica do granulado em três posições do big-bag: início, meio e fim;
4. Parar e escoar o fornecimento de granulado ao Tegão de Alimentação;
5. Introduzir o big-bag na Trolha de Alimentação no momento em que a Misturadora Superior requisitar adição de granulado, desprezar esta mistura;
6. Registrar a adição de compostos;
7. Registrar a posição do molde no momento em que a mistura é descarregada para o Misturador Inferior;
8. Pedir Aviso na Extração de molde para o número de molde que se situa após 15 extrações;

9. Após soar o Alarme de Aviso de Extração, retirar uma amostra de 60 corpos e numerá-los;
10. Medir a humidade de 10 corpos e as dimensões (L, D e ovalidade), massa e massa volúmica de 50;
11. Repetir o ponto anterior após 24 horas;
12. Retificar os corpos para as dimensões 38x24;
13. Realizar o Ensaio de Absorção;
14. Após a primeira extração, alterar a o parâmetro Temperatura de Forno Frio para o segundo set-point;
15. Acionar fim de ciclo da Misturadora caso necessário;
16. Repetir a sequência 7-14 para as misturas seguintes.

6.8 Estudo da Variável Tempo de Residência

O Estudo do Tempo de Residência de reação foi executado através de paragens controladas da Moldadora. Desta maneira é possível caracterizar qual a influência do Tempo de Residência dos moldes em cada uma das zonas da moldadora: Forno Frio Entrada, Forno Quente, Forno Frio Saída e Fora dos Fornos Saída. Antes de cada paragem foi retirado um conjunto de corpos para comparação com os restantes, grupo Controlo, pelo que em cada ensaio são recolhidos cinco amostras.

Com a finalidade de simular as paragens mais sistemáticas efetuadas na moldadora foram realizados dois tipos de ensaios: paragem de 1 minuto (troca de cestos) e paragem de 5 minutos (limpeza do Forno Frio). De realçar que a paragem para limpeza de Forno Frio diferencia-se da paragem para troca de cestos uma vez que implica a abertura das portas do Forno Frio.

Os ensaios realizados encontram-se descritos na Tabela 6.3.

Tabela 6.2 - Ensaio realizados no Estudo da Variável Tempo de Residência

Ensaio		Tempo de Paragem (min)	Número de Réplicas	N (por réplica)
Paragem de 1 minuto (Troca de cestos)	1	1	3	100
	1		3	100
Paragem de 5 minutos (Limpeza do Forno Frio)	2	5		
	(Análise de % Defeitos)		1	250 (+250)

Objetivos:

- Caracterizar a influência das paragens mais frequentes da moldadora;
- Caracterizar a influência um maior Tempo de Residência, por zona da Moldadora, nas seguintes características dimensionais dos corpos.

Protocolo:

1. Retirar n corpos de uma extração, Grupo Controlo;
2. Proceder á paragem da Moldadora;
3. Iniciar Cronómetro;
4. Abrir menu moldes na configuração da moldadora;
5. Pedir Aviso na Extração de molde para as posições:
 - Fora dos Fornos Saída: 2 moldes após a posição Extração;
 - Forno Frio Entrada entrada:12 moldes antes da posição Limpeza;
 - Forno Quente: molde que se situa na posição centro do Forno Quente;
 - Forno Frio Saída:30 moldes após a posição Extração.
6. Proceder ao arranque da moldadora após o tempo pré-estabelecido;
7. Após cada Alarme de Aviso de Extração, retirar os n corpos e numerá-los;
8. Medir as dimensões (L, D e ovalidade), a humidade, massa e massa volúmica;
9. Repetir o ponto anterior após 24 horas;
10. Repetir a sequência (1-9) para o mesmo tempo de paragem (réplica) e para diferentes tempos de paragem da moldadora. De realçar que para simular a paragem de 5 minutos (Limpeza do Forno Frio) é necessário abrir as portas do Forno Frio após o ponto 2 e voltar a fechá-las antes do ponto 6.

7 Apresentação e Discussão de Resultados

Os estudos desenvolvidos visam caracterizar os processos de aglomeração e melhorar a performance do processo e Moldação. No primeiro estudo, foram comparados os corpos produzidos pelos dois processos (Moldação e Extrusão) mediante a análise do seu comportamento após extração, em especial do fenómeno de retração. De seguida foi analisado em maior detalhe o processo de Moldação, com incidência na possibilidade de redução de variabilidade.

As ferramentas da qualidade utilizadas, com destaque para a metodologia de Ishikawa, estão presentes no Anexo A. A informação relativa a cada ensaio, variáveis, condições operatórias e dados obtidos encontram-se no Anexo B. Como suporte para tratamento e análise dos dados obtidos foi utilizado o *Software* de estatística *Minitab*.

7.1 Estudo do Comportamento dos corpos após Extração

É importante caracterizar qual o comportamento dos corpos após extração para que seja possível prever as suas características nas etapas seguintes. Através desta caracterização é possível utilizar os dados do controlo de processo, obtidos à saída do mesmo, e agir de acordo com as características das rolhas pretendidas.

7.1.1 Retração dos Corpos após Extração

Por retração entende-se variação das características dimensionais dos corpos, diâmetro e comprimento. O fenómeno de retração é mais evidente no processo de Moldação, tendo sido estipulado um tempo de estabilização mínimo de 8 horas antes dos corpos avançarem para a etapa de retificação. Há o interesse em caracterizar a retração dos corpos (retração do diâmetro, comprimento e volume) e se possível perceber quais as variáveis que a podem influenciar.

Este estudo serve como base para os seguintes, na medida em que é feita uma primeira abordagem às características dos corpos produzidos bem como das correlações existentes entre as respostas obtidas. Foi incluído um grupo amostral referente ao processo de Extrusão com vista a efetuar uma análise comparativa entre os corpos produzidos pelos dois processos de aglomeração.

Foram realizados dois ensaios e analisados os três grupos amostrais representados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Grupos analisados no Estudo da Retração dos Corpos após Extração.

Corpos Estudados				
Grupo	Fábrica	Processo	Máquina	Granulado
G1	TT	Moldação	MLD 2	RA sem ROSA®
G2				RA com ROSA®

Ensaio 1

O primeiro ensaio foi realizado com intervalos de medição de uma hora e com uma dimensão amostral de 20 corpos por grupo. Este ensaio teve como objetivo a obtenção de resultados preliminares sobre o comportamento dos corpos para de seguida realizar um segundo ensaio com uma maior robustez amostral. A Figura 7.1 ilustra a velocidade de retração do volume dos corpos em função do tempo para cada grupo estudado.

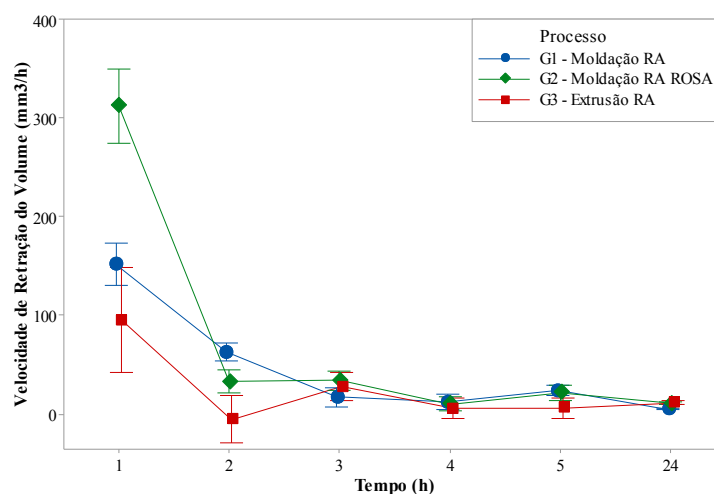


Figura 7.1 – Ensaio 1: Velocidade de Retração do Volume em função do tempo para os três grupos amostrais ($n=20$ por grupo).

Verifica-se um comportamento comum nos três grupos: a velocidade de retração é mais significativa na primeira hora após extração. Os valores de desvio-padrão sugerem uma maior variabilidade de retração nos tempos iniciais, sendo que esta diminui em função do tempo.

Ensaio 2

Foi efetuado um segundo ensaio com maior dimensão amostral, $n=100$. A realização de um ensaio com uma maior dimensão amostral acrescenta significância estatística aos resultados obtidos. Foi também definido um novo tempo entre medições, de duas horas, com a finalidade de abranger um turno de trabalho (turno de oito horas).

Na Figura 7.2 encontra-se novamente representada a velocidade de retração do volume dos corpos em função do tempo. A principal diferença verificada face ao ensaio 1 é a aproximação do comportamento entre os corpos de Moldação, grupos 1 e 2, que neste ensaio se destacam do grupo referente ao processo de Extrusão, Grupo 3.

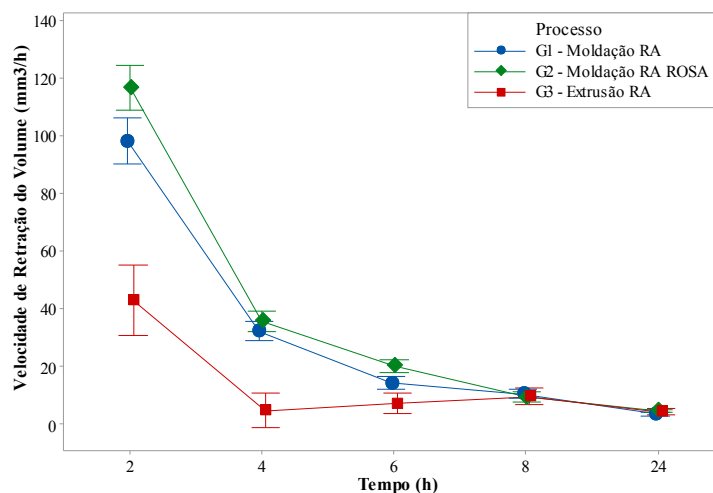


Figura 7.2 - Ensaio 2: Velocidade de Retração do Volume em função do tempo para os três grupos amostrais ($n=100$ por grupo).

No segundo ensaio verifica-se a mesma tendência no que toca à variabilidade e velocidade de retração dos corpos em função do tempo. Nas duas primeiras horas após extração ocorre entre 33% a 42% da retração total (retração após 24 horas).

Uma vez que não se verifica uma retração considerável entre as 8 e as 24 horas após extração, em todos os grupos, considera-se que a partir das 24 horas a retração é nula. Por este motivo foi definida como "retração total" a retração ocorrida 24 horas após extração. Nos estudos seguintes, com vista a analisar a retração dos corpos, a medição das características dos corpos foi executada neste instante temporal.

As análises seguintes são referentes aos dados do Ensaio 2.

Comparação entre Moldação e Extrusão

Foi efetuada uma análise estatística para comparação entre o Grupo 1-Moldação RA e o Grupo 3-Extrusão RA.

Expansão

A Figura 7.3 ilustra os resultados obtidos para a expansão do comprimento e diâmetro dos corpos de Moldação e Extrusão (tempo 0 horas).

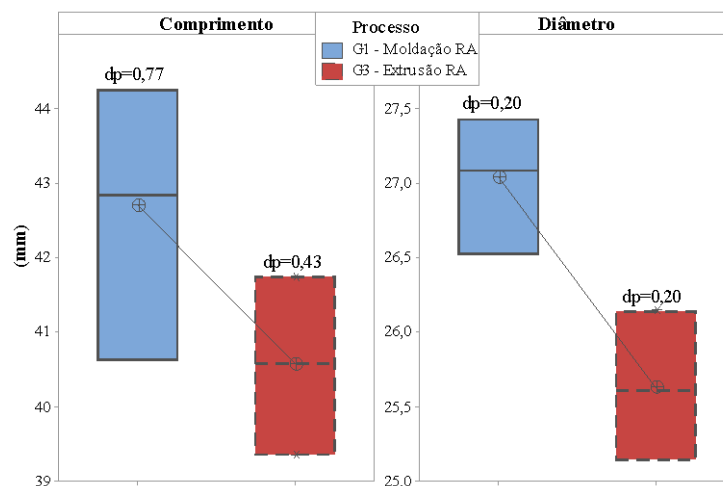


Figura 7.3 - Comparação da Expansão do Comprimento e Diâmetro entre os Grupos Moldação e Extrusão (n=100 por grupo).

É perceptível uma maior expansão dos corpos de Moldação tanto no comprimento como no diâmetro. No entanto, esta diferença deve ser analisada em concordância com as dimensões iniciais para cada processo: dimensões dos moldes para o processo de Moldação e diâmetro de tubos e ajuste das serras para o processo de Extrusão. Através dos dados da Tabela 7.2 confirma-se este incremento da expansão no processo de Moldação. De destacar que os corpos do processo de Moldação apresentaram uma média de massa inferior aos corpos do processo de Extrusão (6,1 e 6,5 gramas respetivamente).

Tabela 7.2 - Comparação da Expansão do Comprimento e Diâmetro face às condições iniciais de cada processo.

Grupo	Diâmetro (mm)		Comprimento (mm)	
	Condições Iniciais	Expansão	Condições Iniciais	Expansão
G1-Moldação RA	D moldes = 26	1,2	L moldes = 37	6,1
G3-Extrusão RA	D tubo = 25	0,8	L serra corte = 39,5	1,3

Em relação à variabilidade de expansão verifica-se uma semelhança entre os dois processos no que diz respeito ao diâmetro. No entanto os corpos de Moldação apresentam maior variabilidade de expansão

de comprimento, o corte dos corpos de Extrusão através da passagem de serra elétrica induz um menor desvio padrão e amplitude face à extração dos corpos dos moldes no processo de Moldação.

Retração

A Figura 7.4 evidencia os resultados obtidos para a retração dos corpos de Moldação e Extrusão (tempo 24 horas).

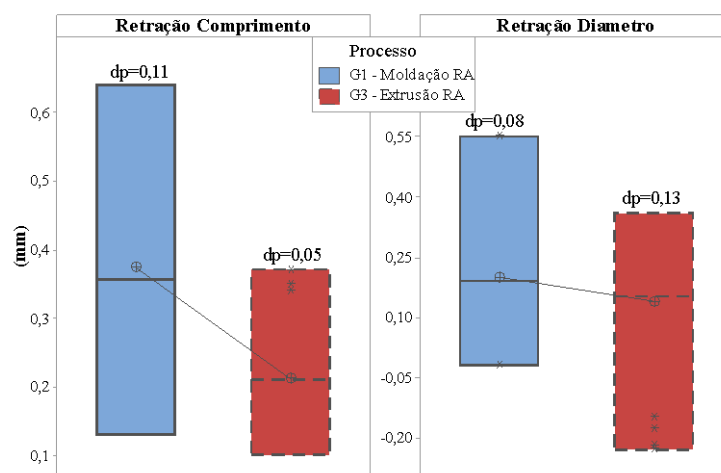


Figura 7.4 - Comparação da Retração do Comprimento e Diâmetro entre os Grupos Moldação e Extrusão (n=100 por grupo).

O processo de Extrusão apresenta uma retração do volume cerca de 43% inferior face ao processo de Moldação. No entanto, apesar de retrair menos em comprimento e diâmetro, esta discrepância deve-se principalmente à diferença entre a retração do comprimento. A Extrusão apresenta uma retração do comprimento 89% inferior ao processo de moldação.

Quanto à variabilidade de retração verifica-se uma diferença estatisticamente significativa da variância tanto em relação ao comprimento como ao diâmetro. O processo de Extrusão apresenta uma variabilidade muito menor na retração do comprimento mas uma maior variabilidade de retração do diâmetro.

Ovalidade

É de realçar a diferença significativa da ovalidade entre os corpos dos dois processos representada na Figura 7.5. Este é um indicador da elevada irregularidade dos corpos de Moldação face aos corpos de Extrusão.

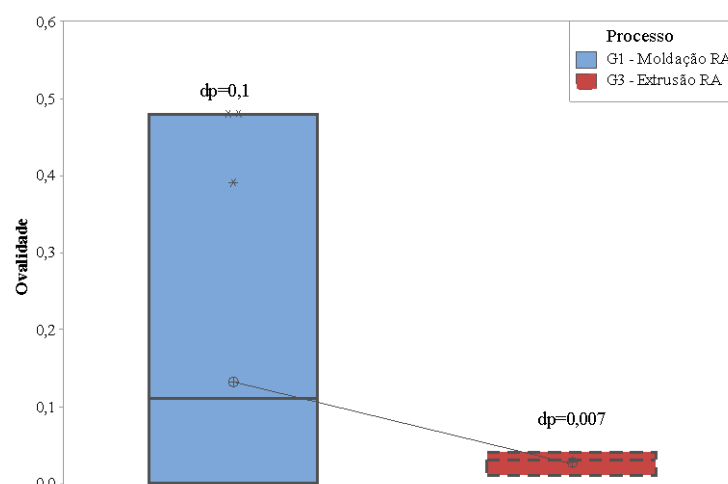


Figura 7.5 - Comparação da Ovalidade apresentada pelos corpos de Moldação e Extrusão para o tempo 24h (n=100 por grupo).

Correlações entre as respostas dos corpos

Foram analisadas as possíveis correlações existentes entre as respostas dos corpos obtidas. Na Figura 7.6 encontra-se representada a correlação entre a massa e o comprimento para os corpos do processo de Moldação e Extrusão.

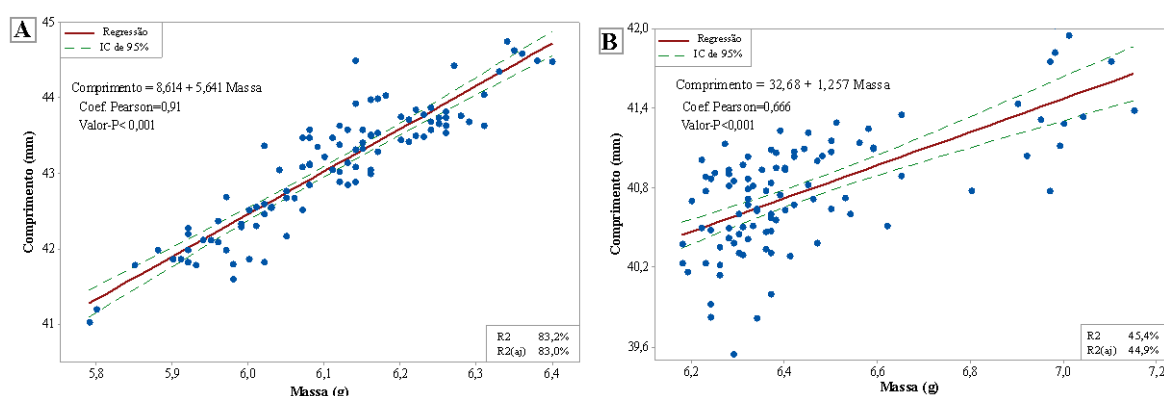


Figura 7.6 - Correlação entre o Comprimento e a Massa dos corpos de Moldação (A) e Extrusão (B) (n=100 por grupo).

Verifica-se uma correlação forte (coeficiente de correlação de pearson=0,9) e positiva entre a massa dos corpos e o seu comprimento no processo de Moldação. Assim, em cada extração, quanto maior for a massa de um corpo maior será o seu comprimento, e vice-versa. É uma correlação também verificada entre a massa e as restantes medições de dimensão, como o diâmetro e volume.

Esta correlação, apesar de se verificar, não é tão forte no processo de Extrusão (coeficiente de correlação de pearson=0,6). Por estes motivos, verifica-se uma correlação distinta entre a massa e a massa volúmica dos corpos para os processos de Extrusão e Moldação, Figura 7.7.

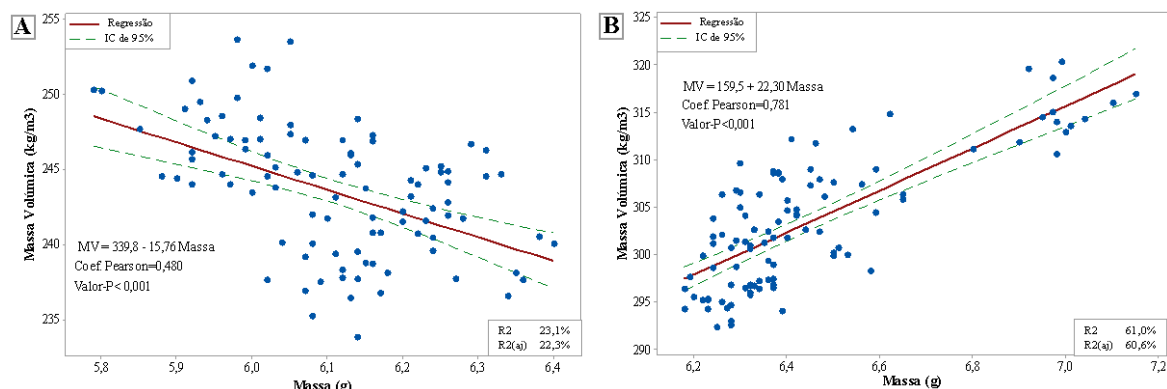


Figura 7.7 - Correlações entre a Massa e a Massa Volúmica dos corpos para os processos de Moldação (A) e Extrusão (B) (n=100 por grupo).

Para os corpos do processo de Extrusão, quanto maior for a massa maior será a sua massa volúmica. Por outro lado, para os corpos de Moldação, quanto maior for a massa menor será a sua massa volúmica. Este resultado deve-se à forte correlação entre a massa e as dimensões dos corpos e Moldação, ou seja a massa e o volume aumentam em simultâneo mas o aumento de volume é mais significativo, pelo que a massa volúmica decresce.

Retração dos corpos de Moldação

Foi realizada uma análise semelhante com o objetivo de averiguar quais as respostas que estariam relacionadas com o fenómeno de retração dos corpos de Moldação. A Figura 7.8 ilustra a tendência observada. Os valores de retração total do comprimento foram agrupados por classes, estas encontram-se dispostas por ordem crescente, de “a” a “j”.

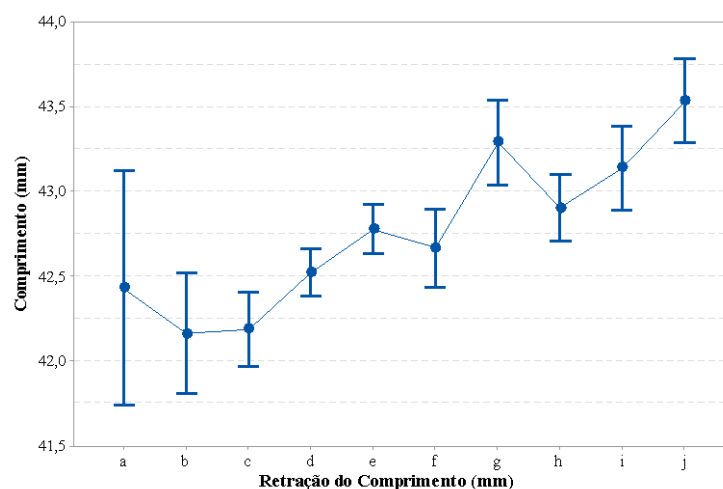


Figura 7.8 - Relação entre o Comprimento inicial dos corpos e a sua respetiva Retração total. Os valores de retração do comprimento encontram-se agrupados (n=100).

Apesar da correlação entre a retração do comprimento e o comprimento inicial não se apresentar tão forte como as anteriormente analisadas (coeficiente de correlação de pearson=0,5), verifica-se uma tendência de aumento do valor de retração total com o aumento do comprimento dos corpos. Esta tendência também se verifica entre a massa e a retração de dimensões, dada a correlação ilustrada na Figura 7.7.

7.1.2 Influência da Temperatura Ambiente na Retração

Com o objetivo de completar o estudo da retração dos corpos foi analisada a potencial influência da temperatura ambiente neste fenómeno.

Para tal, um conjunto de corpos extraídos do processo de Moldação foi dividido em três grupos:

- Grupo Controlo, permaneceu na fábrica TT (local onde se situa o processo de Moldação);
- Grupo Quente, colocado em ambiente controlado à temperatura de 50°C;
- Grupo Frio, colocado em ambiente controlado à temperatura de 20°C.

Foram realizadas duas réplicas executadas em tempos diferentes, com início no Turno 1 e com início no Turno 2, com vista a analisar o possível efeito das diferenças de temperatura a que os corpos são sujeitos entre os turnos de produção. As temperaturas registadas na fábrica TT nos dias dos ensaios realizados encontram-se representadas na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 - Temperaturas registadas na fábrica TT nos dias dos ensaios realizados para o estudo da Influência da Temperatura Ambiente na Retração.

Intervalos de tempo entre medições	Turno 1				Turno 2			
	Hora	Temperatura (°C)			Hora	Temperatura (°C)		
		Mínimo	Média	Máximo		Mínimo	Média	Máximo
t0- t4	00:00-04:00	25	26	27	08:00-12:00	27	28	30
t4-t8	04:00-08:00	24	25	25	12:00-16:00	26	26	27
t8-t24	08:00:00:00	24	29	33	16:00-08:00	27	36	40

A Figura 7.9 representa a retração do comprimento dos corpos após permanência de quatro horas nas condições descritas.

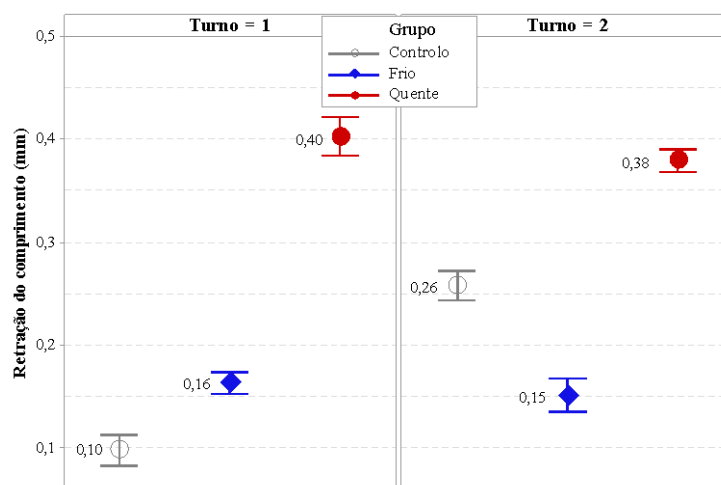


Figura 7.9 - Retração do Comprimento dos corpos após quatro horas em condições de temperatura controladas (n=50 por grupo).

Verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre as médias de retração do comprimento dos três grupos. Esta é uma indicação de que a temperatura tem influência na retração dos corpos após extração.

Os corpos do Grupo Quente retraíram 2,5 vezes mais do que os corpos do Grupo Frio, efeito verificado para os dois turnos.

Em relação ao Grupo Controlo é notória uma maior retração do comprimento no ensaio realizado no Turno 2. Esta diferença corrobora a influência da temperatura ambiente na retração uma vez que pode ser explicada pela temperatura ambiente mais elevada sentida nas primeiras quatro horas do Turno 2 (08:00h-12:00h) face à temperatura ambiente sentida nas primeiras quatro horas do turno 1 (00:00h-04:00h).

Estes resultados encontram-se em sintonia com o perfil de velocidades de retração observado no estudo anterior (Capítulo 7.1.1-Retração dos Corpos após Extração). À saída dos processos de aglomeração, principalmente do processo de Moldação, os corpos encontram-se a temperaturas elevadas (40 a 60°C). Os dados obtidos neste estudo evidenciam que quanto maior a temperatura maior será a velocidade de retração, facto que é corroborado pelas elevadas velocidades de retração verificadas nas primeiras horas após extração (Figura 7.2).

Após permanência nas condições controladas, os corpos foram colocados nas mesmas condições que o Grupo Controlo, na fábrica TT. Foram realizadas duas medições, que representam as 8 horas e 24 horas após extração, com o objetivo de caracterizar a evolução da retração dos diferentes grupos e a respetiva influência das temperaturas experienciadas nas primeiras quatro horas.

Na Figura 7.10 estão representados os valores médios de retração de volume dos diferentes grupos ao longo do tempo bem como as percentagens da retração total (retração após 24 horas) verificadas em cada intervalo de tempo. Nas legendas da figura encontra-se a média de retração total do comprimento para cada grupo.

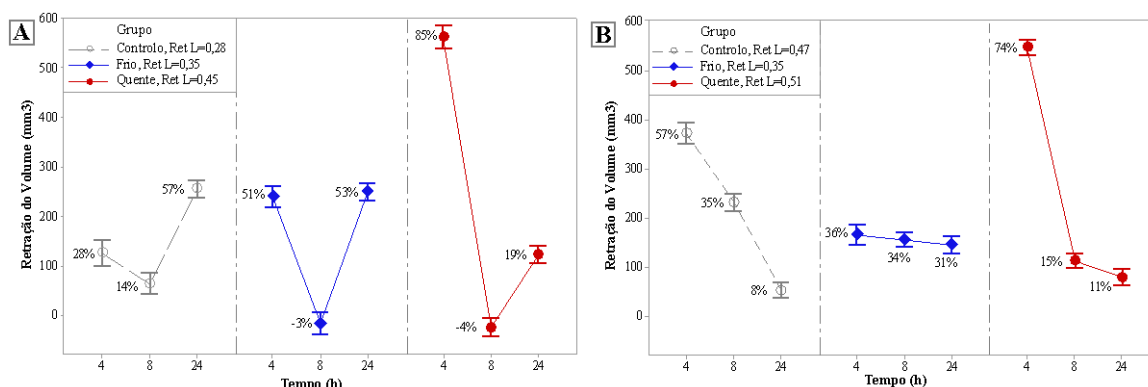


Figura 7.10 - Variação da Retração do Volume dos corpos de cada grupo, após estabilização nas mesmas condições do grupo Grupo Controlo, para os ensaios Turno 1 (A) e Turno 2 (B) (n=50 por grupo).

É possível constatar que o Grupo Quente retraiu, em ambos os ensaios, uma grande percentagem da retração total no período em que se encontrou sob influência de temperatura elevada (85% e 74% nos turnos 1 e 2 respetivamente).

Analisando o comportamento dos corpos constituintes do Grupo Frio, conclui-se que uma temperatura mais baixa não cessa a retração mas apenas diminui a sua velocidade, uma vez que os corpos apresentaram retração após as primeiras quatro horas.

Através da análise da Figura 7.10 é também perceptível uma diferença significativa do comportamento dos grupos em função do turno em que os corpos foram extraídos. No Turno 2 verifica-se um comportamento semelhante ao exposto no estudo anterior, enquanto no caso do Turno 1 os corpos apresentaram uma retração baixa, ou mesmo uma ligeira expansão, entre as quatro e oito horas e um aumento de retração nas ultimas 16 horas. De novo, a influência da temperatura é colocada em evidência uma vez que entre as quatro e oito horas do Turno 1 (04:00-08:00) a temperatura é mais baixa e as ultimas 16 horas representam a altura do dia (08:00h – 00:00h) em que se verificam temperaturas mais altas.

O facto do Grupo Controlo apresentar uma retração total superior no Turno 2 (face ao seu homólogo no Turno 1) e o Grupo Quente apresentar uma retração total superior aos restantes nos dois ensaios são um indicador de que quanto maior for a temperatura inicial e quanto mais alta for a temperatura experienciada por um corpo, maior será o potencial de retração.

Humidade

Uma característica dos corpos também influenciada pela temperatura ambiente é a humidade. Na Figura 7.11 está representada a variação da média de humidade dos corpos, para cada grupo e ensaio, em função do tempo.

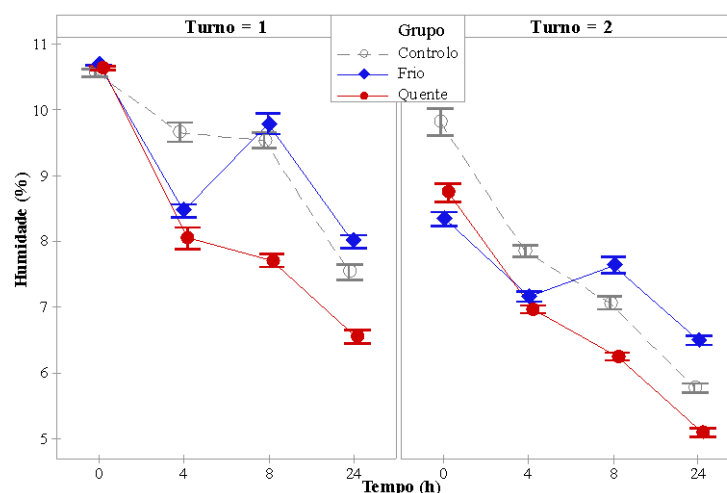


Figura 7.11 - Variação da Humidade dos corpos de cada grupo em função do tempo para os dois ensaios realizados ($n=100$ por grupo).

Ocorre uma diminuição da humidade dos corpos tão significativa quanto maior for a temperatura ambiente. Após 24 horas, o Grupo Quente apresenta humidades inferiores enquanto o Grupo Frio é o que apresenta valores de humidade superiores, facto verificado para os dois ensaios.

Esta influência também é visível através da análise do comportamento dos corpos entre as 4 e 8 horas dos dois turnos de produção. O Grupo Controlo, no Turno 1 perdeu em média 0,1% de humidade enquanto que no Turno 2, devido a um maior valor de temperatura sentida, perdeu em média 0,8% de humidade.

Sugestões de Melhoria

Os resultados obtidos neste estudo têm implicações quando se verificam amplitudes de temperatura significativas (sazonalidade diária e anual), pelo que se sugere um ajuste de especificações do tempo de estabilização e da margem de corte na retificação

No Verão as temperaturas sentidas são superiores o que se traduz numa maior retração dos corpos, no entanto, uma vez que a velocidade de retração é superior o tempo de estabilização poderá ser inferior e a margem de retificação poderá ser inferior. Por outro lado, no Inverno a velocidade de retração é inferior, no entanto poderá não ser suficiente aumentar o tempo de estabilização. O potencial de retração é influenciado pela temperatura sentida o que pode significar que um corpo no Inverno não retraia mais até experienciar uma temperatura mais elevada. Sugere-se um aumento da tolerância de corte na retificação.

7.1.3 Análise da Variação de Massa Volúmica ao longo das etapas do Processo

A especificação de massa volúmica no controlo à saída do processo de Moldação está definida entre 270 e 290 kg/m³. Esta é a especificação que se pretende para o produto final, após retificação, lavação, escolha e possível tratamento e marcação. (De realçar que é uma especificação mais centrada dado que a especificação no controlo de qualidade de produto final para estas rolhas é de 250-330 kg/m³.)

Através da análise aos dados obtidos no estudo do Capítulo 7.1.1-Retração dos Corpos após Extração, verifica-se que a própria retração induz um aumento da massa volúmica. Torna-se assim relevante perceber se há a necessidade de ajustar a especificação de massa volúmica à saída do processo para se enquadrar com a especificação pretendida. Para tal, foi realizada uma análise da variação desta característica ao longo das etapas do processo produtivo. Como meio de comparação foi efetuada uma análise aos dados históricos em que foi também analisada a variação desta característica nos corpos produzidos através de Extrusão.

Retração

A retração dos corpos implica um aumento de massa volúmica devido à redução das suas dimensões verificando-se, em qualquer análise efetuada, uma forte correlação entre a retração do volume e o aumento de massa volúmica. Na Figura 7.12 está representada a variação de massa volúmica devido ao fenómeno de retração (entre os tempos 0 e 24 horas) para os corpos do Grupo 1 – Moldação RA do estudo anterior.

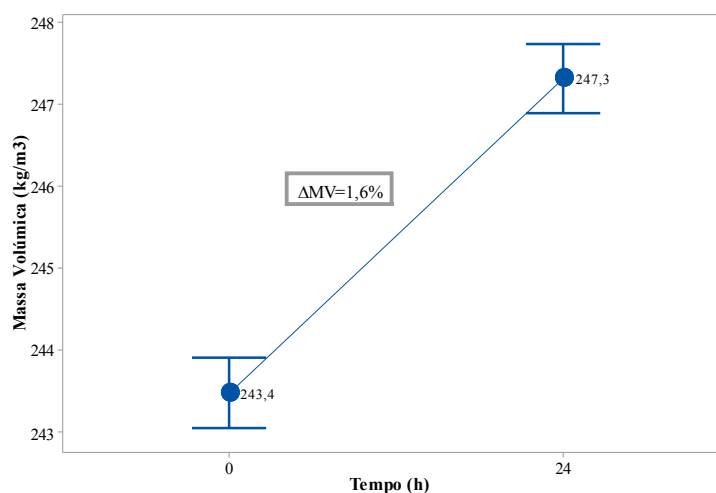


Figura 7.12 - Variação de Massa Volúmica dos corpos de Moldação de granulado RA devido ao fenómeno de retração ($n=100$).

Verifica-se um aumento, em média, de 1,6% da massa volúmica para estes corpos. Para os corpos do Grupo 2 – Moldação RA ROSA® o aumento é semelhante, 1,5%. No caso dos corpos obtidos pelo processo de Extrusão (Grupo 3), devido à menor retração do volume já discutida, o aumento de massa volúmica é também menor, cerca de 1%.

Retificação

Com vista a analisar a influência da etapa de retificação na massa volúmica dos corpos foi medido um conjunto de corpos antes e após este processo. Os dados obtidos encontram-se representados na Figura 7.13, de realçar que os corpos foram retificados (calibre 38x24) após um tempo de estabilização de 24 horas para garantir que o fenómeno de retração não teve influência nestes resultados.

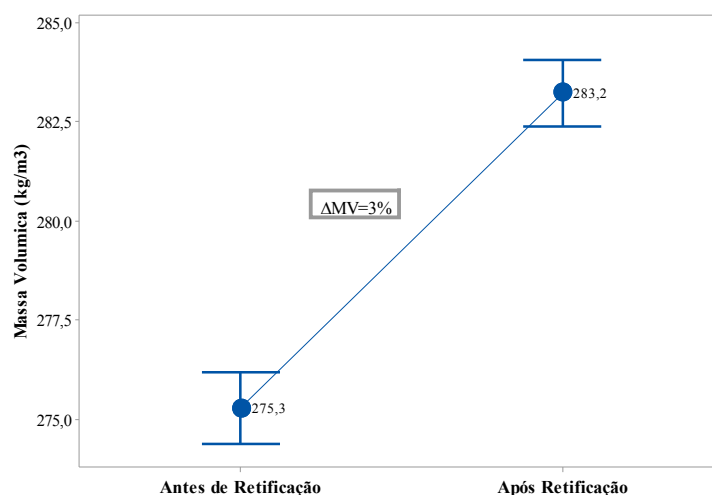


Figura 7.13 - Variação de Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Retificação (n=300).

A massa volúmica dos corpos aumentou em 3% devido à etapa de retificação.

Esta diferença não se deve a um fenómeno físico ou químico mas sim a um erro de medição do aparelho *Medcork*, mais concretamente da medição do volume. O aparelho calcula o diâmetro dos corpos através da medição de dois pontos e o comprimento através da medição de um único ponto para de seguida calcular o seu volume. Assim, não tem em consideração a irregularidade do diâmetro dos corpos, verificada através da ovalidade, e a irregularidade do comprimento, evidenciada pelo fenómeno de topos enviesados. Em suma, antes da retificação, é calculado um volume dos corpos superior ao seu volume real que se traduz na obtenção de um valor de massa volúmica inferior ao real.

Após retificação os corpos tornam-se claramente mais homogêneos. Os topos tornam-se paralelos entre si e a ovalidade é reduzida em 83%, Figura 7.14, pelo que a medição da massa volúmica é mais precisa.

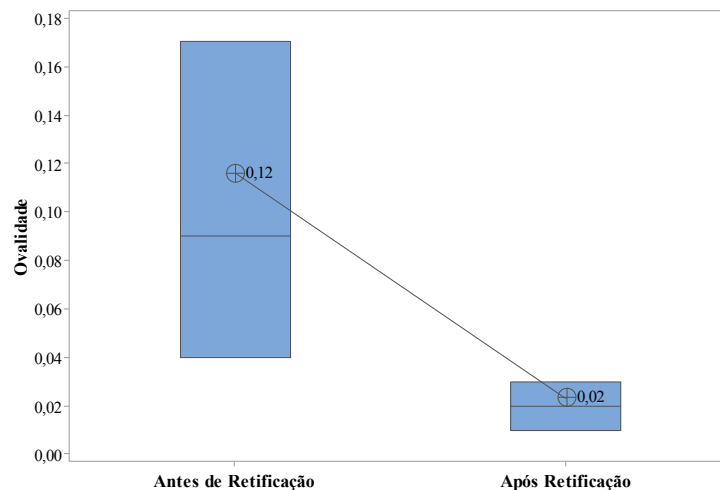


Figura 7.14 - Medição da Ovalidade dos corpos antes e após Retificação (n=300).

Nos corpos produzidos através de Extrusão esta diferença não é constatada uma vez que não se verifica o fenómeno de topos enviesados e a ovalidade é bastante reduzida (Figura 7.5).

Lavação

Em relação à etapa de lavação não se verifica uma diferença estatisticamente significativa entre a massa volúmica dos corpos à entrada e saída do processo, Figura 7.15.

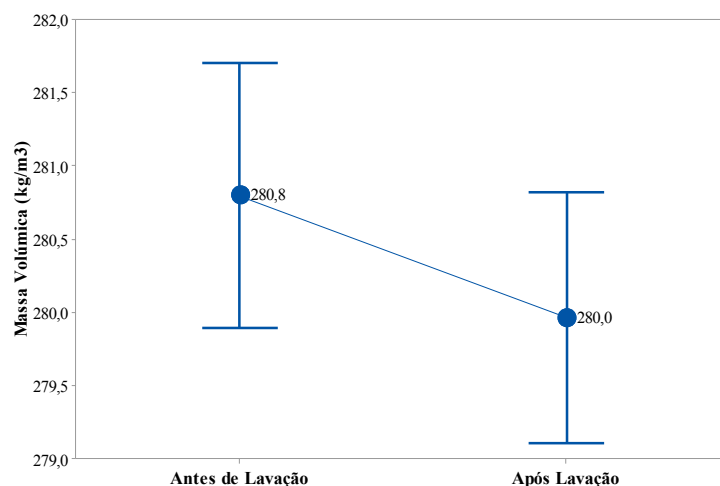


Figura 7.15 - Variação da Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Lavação (n=50).

Chanfro

Além das diferenças de massa volúmica discutidas é ainda de realçar o pormenor do chanfro. O chanfro é obtido no processo de chanframento que consiste no desgaste do exterior do topo dos corpos com a finalidade de facilitar a sua inserção em garrafa. Uma vez que nesta fase os corpos são homogéneos, o desgaste de qualquer parte do corpo significa remoção de massa e volume em iguais proporções que por sua vez não implica alteração de massa volúmica.

Com vista a analisar esta situação foi medido um conjunto de corpos antes e após o processo de chanframento (chanfro 2mm), Figura 7.16.

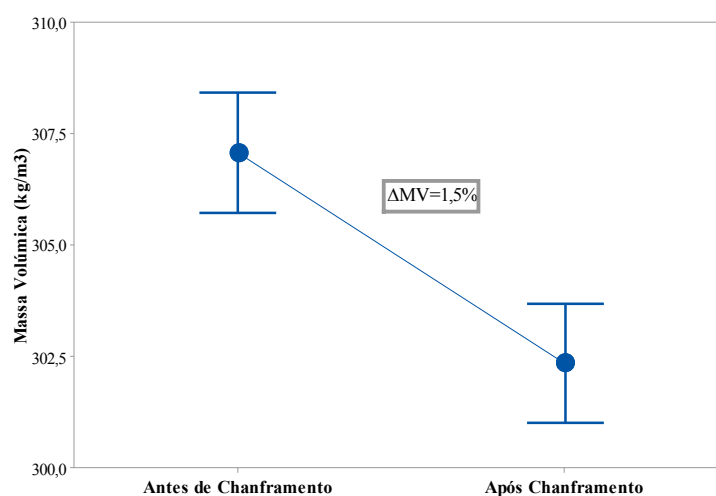


Figura 7.16 - Diferença de Massa Volúmica dos corpos devido à etapa de Chanframento ($n=70$).

Os resultados revelam uma diferença estatisticamente significativa entre a medição de massa volúmica antes e após chanfro, sendo que esta diminui em média 1,5%.

De novo, este fenómeno deve-se à medição efetuada pelo *MedCork*. O aparelho não tem em conta o chanfro das rolhas, medindo assim o mesmo volume antes e após chanframento mas uma massa inferior após chanframento.

Ao contrário do erro de medição constatado na etapa de retificação, a medição de massa volúmica após chanframento não corresponde ao valor real. Assim pode-se afirmar que as rolhas chanfradas que são expedidas da UI-Equipar têm uma massa volúmica, em média, 1,5% inferior à sua verdadeira massa volúmica.

Esta discrepância entre o valor real e o valor medido está dependente do tipo de chanfro aplicado, quanto maior o chanfro maior será a discrepância.

Análise de Dados Históricos

Com vista a corroborar os resultados obtidos através dos ensaios realizados foram analisados os dados históricos do ano de 2016. A análise foi também efetuada para o processo de Extrusão com o objetivo de caracterizar a diferença do fenómeno de variação de massa volúmica entre os dois processos.

Foram comparados os registos do controlo à saída dos processos de aglomeração com os registos dos relatórios de produto final para cada uma das 51 semanas do ano. Para tal foram tratados os dados dos *softwares Egitron SPC e Egitron Controlab*. Foi considerado o granulado do tipo RA (com e sem ROSA®) e rolhas de calibres (40,38 e 35)x(23 e 24).

Na Figura 7.17 encontram-se os resultados obtidos para os corpos produzidos na Moldadora 2.

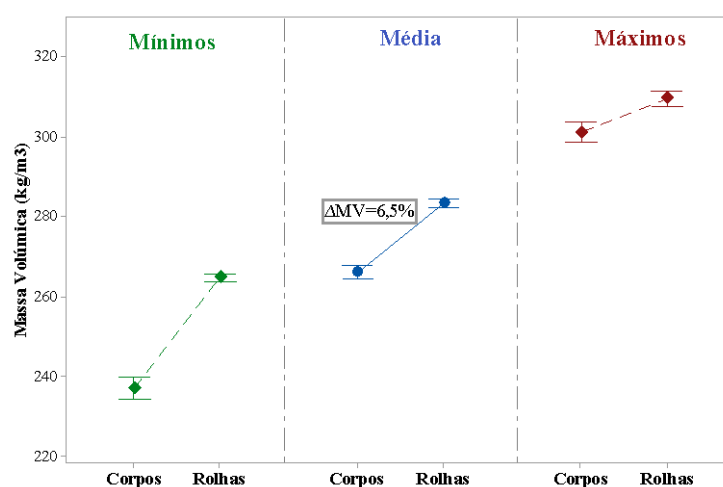


Figura 7.17 - Análise aos dados históricos de 2016 para comparação da Massa Volúmica entre os corpos à saída do processo de Moldação e as rolhas de produto final.

Através da comparação entre a média das massas volúmicas dos corpos e das rolhas finais verifica-se um incremento desta característica em 6,5%. Supondo que os mínimos obtidos no controlo de processo dos corpos correspondem aos mínimos obtidos no controlo de produto final e que o mesmo acontece para os valores máximos, observa-se que quanto menor for a massa volúmica apresentada pelos corpos à saída do processo de Moldação maior será o aumento desta ao longo das etapas do processo produtivo.

Tal como previsto pelos ensaios efetuados, os corpos provenientes do processo de Extrusão apresentam um comportamento diferente, Figura 7.18.

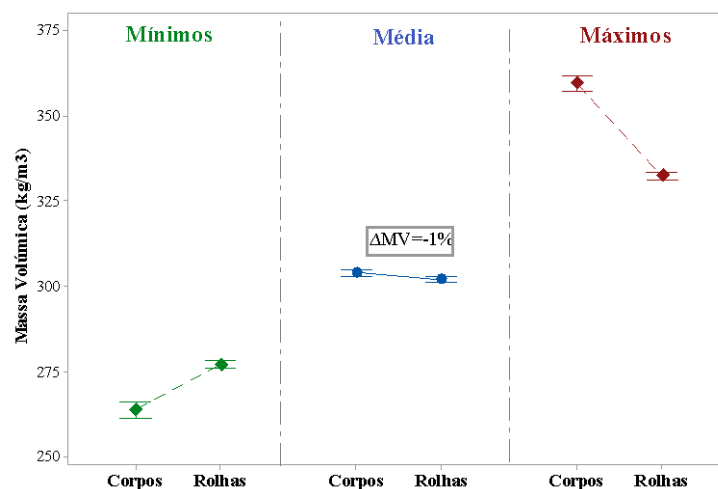


Figura 7.18 - Análise aos dados históricos de 2016 para comparação da Massa Volúmica entre os corpos à saída do processo de Extrusão e as rolhas de produto final.

As diferenças apresentadas entre o controlo à saída do processo e o controlo de produto final não são significativas pelo que se pode afirmar que a massa volúmica à saída do processo de Extrusão será idêntica no fim do processo produtivo.

A discrepância evidenciada pelos valores máximos é justificada pela segregação de corpos que se encontram fora de especificação.

Sugestões de Melhoria

Os resultados obtidos através dos ensaios executados evidenciam um aumento de massa volúmica dos corpos de Moldação ao longo das etapas do processo produtivo de cerca de 5%, em média, enquanto a análise aos dados históricos revelou um aumento superior, de cerca de 6,5%. Ainda assim é possível concluir que o fenómeno de retração e a etapa de retificação são as principais responsáveis pela diferença de massa volúmica apresentada.

Uma vez que a análise aos dados históricos engloba um ano inteiro de produção e uma dimensão amostral muito superior este valor foi tido em conta tendo para a sugestão apresentada:

- Alteração de especificação de Massa Volúmica no controlo à saída do processo de Moldação de $[270-290] \text{ kg/m}^3$ para $[250-270] \text{ kg/m}^3$.

7.2 Estudo da Variabilidade de Massa

Na sequência do estudo anterior, Capítulo 7.1.1-Retração dos Corpos após Extração, verificou-se a correlação existente entre a massa e dimensões (comprimento, diâmetro e volume) dos corpos. Uma diminuição da variabilidade da massa dos corpos incute uma diminuição da variabilidade das dimensões dos mesmos. Por estes motivos, este estudo foca-se na redução da variabilidade de massa com o objetivo de redução da variabilidade das dimensões dos corpos produzidos.

Foram analisadas as diferentes variáveis e condições operatórias com influência neste aspeto bem como o funcionamento e limitações da fase de prensagem, informação presente no Capítulo 5. Desta análise surgiu também a evidência de que o padrão de desperdício de granulado observado no chão junto à moldadora, Figura 7.19, poderia indicar uma discrepância na inserção de granulado em cada molde.



Figura 7.19 - Padrão de desperdício de granulado no chão junto da zona frontal da moldadora.

Ensaio 1 - Identificação de Problema

O ensaio desenvolvido baseia-se na hipótese de ocorrer uma diferença entre a massa dos corpos recolhidos em diferentes posições do molde.

A Figura 7.20 expõe a diferença entre a média de massa para as duas posições estudadas para um conjunto de vinte extrações. As posições Início e Fim dizem respeito às duas extremidades dos moldes.

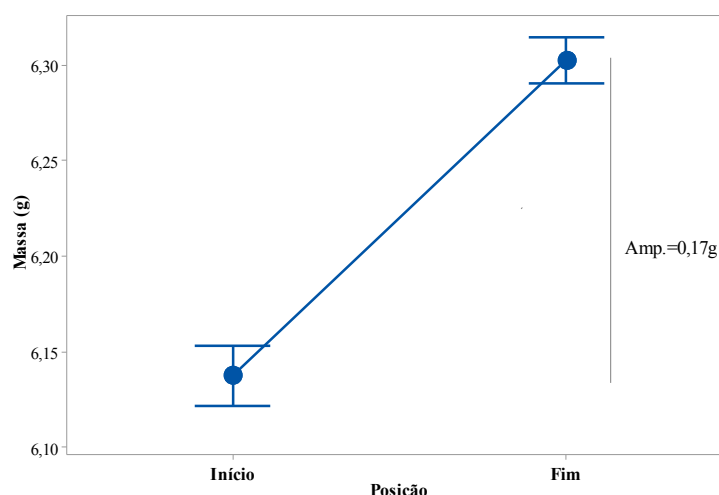


Figura 7.20 – Ensaio 1: Diferença entre as Massas de corpos recolhidos em duas posições do molde ($n=100$ por posição).

Os resultados obtidos validam a hipótese em causa uma vez que as massas dos corpos apresentam uma diferença estatisticamente significativa face à posição do molde. De facto, todos os conjuntos de

corpos recolhidos da posição Fim apresentaram uma média de massa superior aos seus pares recolhidos da posição Início.

Esta diferença afeta, tal como previsto, as dimensões dos corpos, Figura 7.21.

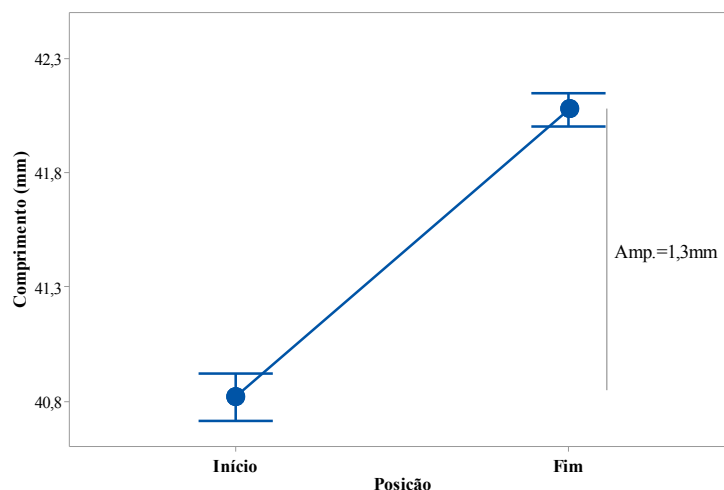


Figura 7.21 – Ensaio 1: Diferença entre o Comprimento de corpos recolhidos em duas posições do molde ($n=100$ por posição).

A média da diferença entre os comprimentos dos corpos das duas posições foi de 1,3mm sendo que o valor máximo de amplitude entre as médias dos corpos recolhidos de posições diferentes da mesma extração foi de 2,3mm.

Ação de Melhoria

Após reconhecimento do problema existente foram avaliadas as suas potenciais causas. A análise aos dados referentes às duas posições foi essencial neste exercício. Na Figura 7.22 estão representados os histogramas de frequência de massa e comprimento por posição.

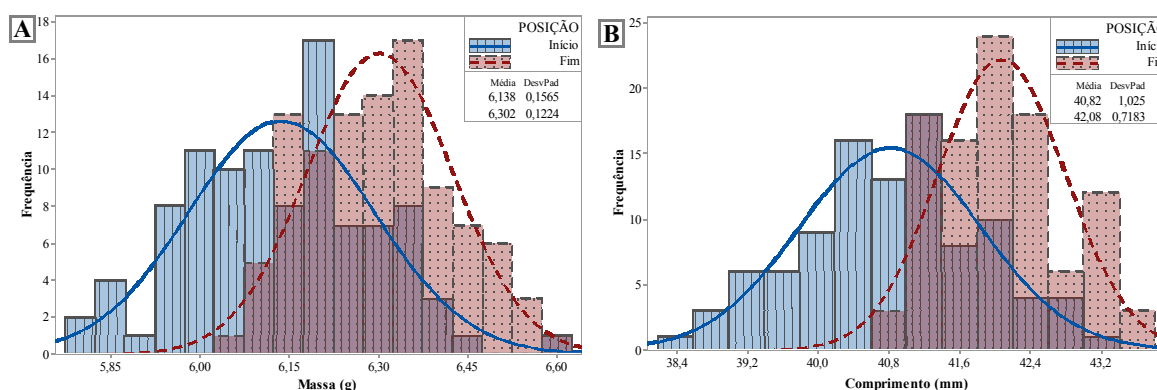


Figura 7.22 - Histogramas de Frequência da distribuição de Massa (A) e de Comprimento (B) por posição do molde ($n=100$ por posição).

Constata-se uma maior variabilidade entre os corpos recolhidos na posição Início. Esta afirmação é suportada pelo maior desvio padrão e dispersão dos valores representados na figura e pela maior amplitude verificada entre as médias dos conjuntos de corpos (por molde) desta posição. A amplitude de massa na posição Início é cerca de três vezes superior à verificada na posição Fim, 1,4 e 0,5 gramas respetivamente.

Por estes motivos a posição Início foi considerada como a posição problemática. Tendo como base estes dados a moldadora foi avaliada sendo constatado um possível desajuste no encaixe dos moldes ao suporte dos armazéns durante a fase de prensagem, na posição referida.

Os resultados obtidos no Ensaio 1, e as suspeitas adquiridas, foram apresentados à Equipa de Manutenção sendo que esta planeou uma intervenção na moldadora. Esta resultou em duas ações que confirmaram as suspeitas anteriores:

- Reajuste do movimento de encaixe dos moldes ao suporte dos armazéns;
- Recalibração do movimento dos pistões de prensagem.

A intervenção teve duração de uma hora.

Ensaio 2 - Reavaliação do estado do Processo

Após reconhecimento do problema, avaliação da possível causa e execução de uma ação de melhoria, foi aferido o estado da situação. Assim, foi realizado novamente o ensaio que colocou em evidência o problema, com o objetivo de reavaliar a variabilidade de massa. A Figura 7.23 ilustra os resultados obtidos no segundo ensaio, os dados do primeiro ensaio foram incluídos como meio de comparação.

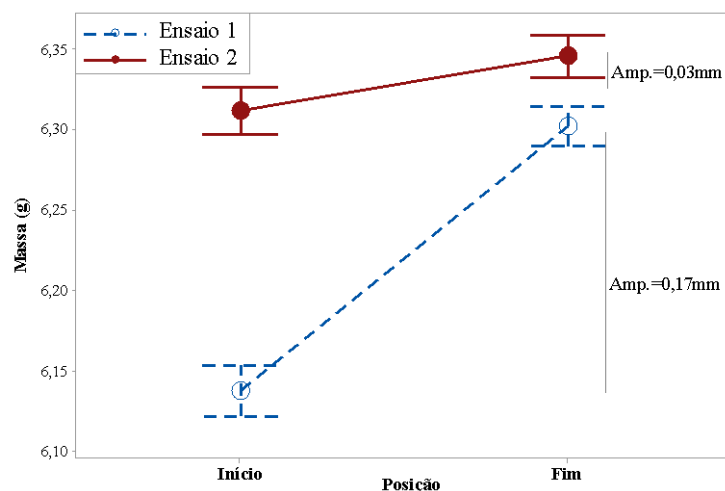


Figura 7.23 – Ensaio 2: Diferença entre a Massa de corpos recolhidos em duas posições do molde. O resultado do Ensaio 1 também se encontra representado. (n=100 por posição).

No segundo ensaio verifica-se que as médias de massa dos corpos analisados não são estatisticamente diferentes face à posição no molde. A amplitude deste parâmetro diminuiu em cerca de 83% após a ação de melhoria, evidenciando uma diminuição da variabilidade de massa assinalável.

Foi efetuada a mesma análise para avaliar a influência da melhoria no comprimento dos corpos, Figura 7.24.

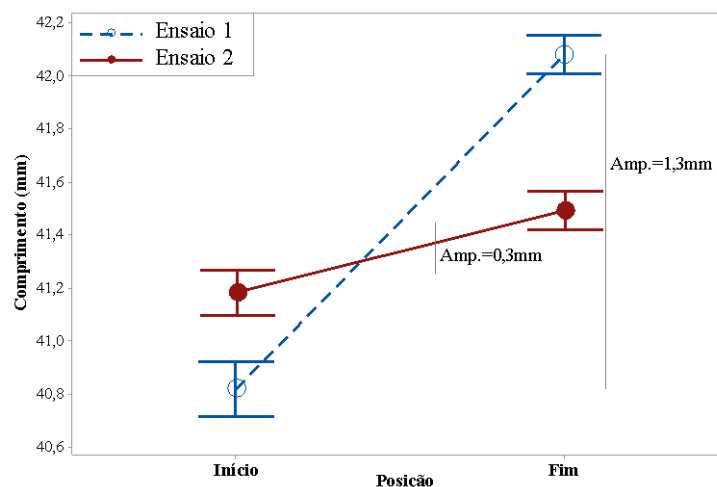


Figura 7.24 - Ensaio 2: Diferença entre o Comprimento de corpos recolhidos em duas posições do molde. O resultado do Ensaio 1 também se encontra representado. ($n=100$ por posição).

Tal como verificado para a análise da massa corpos, também o comprimento dos corpos, apresentado após a resolução do problema encontrado na fase de prensagem, manifestou uma diminuição de variabilidade. As amostras não apresentam uma diferença estatisticamente diferente das médias de comprimento entre as posições do molde, sendo que a amplitude entre as médias diminuiu de 1,3 para 0,3 milímetros.

Desperdício de Granulado

A redução de variabilidade referida deve-se a um melhor funcionamento da fase de prensagem. A posição Início apresentava um défice de introdução de massa nos moldes que motivava o padrão de desperdício de granulado verificado. Após a intervenção efetuada, o granulado que era depositado no chão passou a ser inserido corretamente nos moldes, assim, além da redução de variabilidade de massa e de dimensões dos corpos já discutidas, ocorreu também uma diminuição do desperdício de granulado da moldadora.

Com vista a quantificar esta evidência foram analisados os registos de desperdício de granulado da moldadora. Na Figura 7.25 encontram-se os histogramas das médias de desperdício de granulado, por dia, para dois momentos diferentes: os 20 dias que antecederam a intervenção (antes) e os 20 dias após a intervenção (depois).

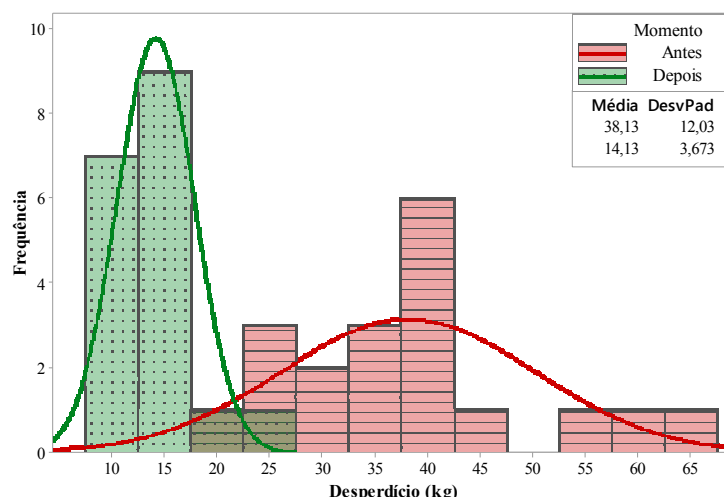


Figura 7.25 - Histograma de Frequência da média de desperdício de granulado nos 20 dias antes e após a ação de melhoria.

Antes da implementação da ação de melhoria a média de desperdício por dia era de cerca de 38 kg, este valor foi reduzido em 63%, sendo que nos 20 dias posteriores a média de desperdício foi de 14 kg.

Significa que foram poupados 24 kg de desperdício de granulado todos os dias e que esta quantidade de granulado passou a ser utilizada para a produção de corpos. Ou seja, a quantidade de desperdício que tinha um valor de 108 € por mês passou a ser valorizada em 1.282€ por mês mediante a sua utilização para a produção de corpos, elemento de maior valor acrescentado. Em suma, tendo apenas em consideração o desperdício de granulado, obteve-se um ganho de 15.385€ por ano (este valor foi obtido com base na produção da moldadora (tendo em conta os dados apresentados no Capítulo 5), no valor dos corpos de granulado RA e assumindo uma produção de 20 dias por mês).

A redução de desperdício motivou ainda uma diminuição do tempo de limpeza do Forno Frio em cerca de 30% (de 15 para 5 minutos), os benefícios e implicações desta situação são estudados em detalhe no Capítulo 7.5-Estudo da Variável Tempo de Residência.

Sugestões de Melhoria

Tendo sido colocadas em evidência as principais vantagens da resolução do problema em causa, mais concretamente a diminuição de variabilidade do processo e de desperdício de granulado, é importante assegurar que estas vantagens são mantidas e que o processo não regride ao seu estado anterior. Este objetivo motivou as sugestões apresentadas:

- Inclusão de um indicador estatístico de variabilidade de massa no controlo à saída do processo, neste caso a amplitude, para que a variação de massa dos corpos por extração seja acompanhada. Em adição, a inclusão do ensaio realizado neste estudo no controlo de processo (com periodicidade mais alargada do que o controlo de processo à saída) uma vez que permite aferir assertivamente sobre a significância estatística da diferença observada e decidir acerca da necessidade de uma possível intervenção.

- Instalação de um equipamento de aspiração na zona frontal da prensagem por cima do suporte de armazéns. Esta é considerada a alteração preventiva mais importante para assegurar que o problema não se exponencie. O granulado que se encontra nesta zona, por cima do suporte dos armazéns, com o movimento de passagem da Gaveta de Alimentação, é constantemente depositado por cima dos moldes que vão avançando para a zona de prensagem. Quando se dá o movimento de encaixe dos moldes no suporte dos armazéns, o granulado retido entre estes dois motiva a problemática descoberta. A colocação de aspiração nesta zona permite que o granulado seja removido em vez de ser depositado em cima dos moldes.

7.3 Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado

A variável humidade é de extrema importância para os processos de aglomeração uma vez que está diretamente relacionada com a reação de aglomeração discutida no Capítulo 3. De acordo com o diagrama de Ishikawa construído (Anexo A), é uma variável com grande influência na variabilidade das dimensões dos corpos.

A humidade é classificada como intrínseca e extrínseca, consoante se refere à humidade residual do granulado ou à humidade adicionada ao granulado. A adição de água à mistura, humidade extrínseca, é o único método de controlo desta variável no processo, no entanto a informação relativa à influência desta adição é reduzida. Foram desenvolvidos ensaios que visam caracterizar a influência da humidade intrínseca e humidade extrínseca nas características dos corpos produzidos.

Foram realizados seis ensaios/réplicas. Para cada réplica foi utilizado um big-bag caracterizado em função da humidade e massa volúmica do granulado. Em cada réplica, e para cada big-bag, foram realizadas quatro misturas com adições de humidade diferentes (+0%,+1%,+2%,+3%,+5%). O protocolo seguido visa assim controlar todas as variáveis e condições operatórias do processo, variando apenas a humidade extrínseca das misturas de cada réplica e a humidade intrínseca do granulado de réplica para réplica.

Caracterização de big-bags

Os big-bags foram caracterizados através da medição das características humidade e massa volúmica em três posições: início, meio e fim. O objetivo desta caracterização foi o de obter réplicas com humidades diferentes e com massas volúmicas semelhantes, as restantes variáveis foram mantidas constantes. Os resultados obtidos encontra-se representados na Figura 7.26, as réplicas foram ordenadas em função da média de humidade de cada big-bag.

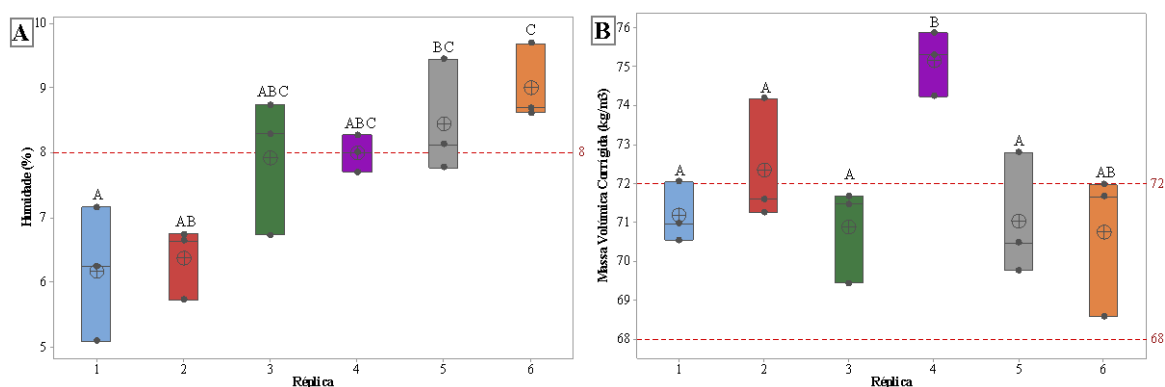


Figura 7.26 - Medições de Humidade (A) e Massa Volúmica (B) do granulado por big-bag (n=3 por big-bag).

Em relação à humidade, os big-bags analisados apresentam médias de humidades entre 6% e 9%, abrangendo os valores mais comuns verificados à entrada do processo. Em relação à massa volúmica, tal como pretendido, as réplicas não apresentam uma diferença estatisticamente significativa e encontram-se dentro de especificação, com exceção da réplica 4 que apresenta um valor de massa volúmica superior.

O exercício de caracterização dos big-bags colocou em evidência a elevada variabilidade do granulado à entrada do processo. Dentro de um mesmo big-bag (com capacidade de cerca de 260kg) verificaram-se amplitudes máximas de humidade de cerca de 2% e de massa volúmica de cerca de 4kg/m³. Além disso, expôs a variação das características do granulado dentro do big-bag em função do tempo, uma vez que se verificou uma diferença entre as medições preliminares e as medições apresentadas para todas as réplicas.

As médias de humidade e massa volúmica de cada big-bag encontram-se representadas na Tabela 7.4.

Tabela 7.4 - Médias de Humidade e Massa Volúmica corrigida verificadas para cada réplica.

Réplica	Humidade (%)	Massa Volúmica corrigida (kg/m³)
1	6,2	71,2
2	6,4	72,3
3	7,9	70,9
4	8,0	75,1
5	8,4	71,0
6	9,0	70,7

Expansão

A expansão dos corpos foi avaliada através da medição do comprimento no tempo inicial (tempo 0 horas), ou seja após extração. A Figura 7.27 evidencia o comportamento dos corpos de cada réplica em função da adição de água para cada mistura.

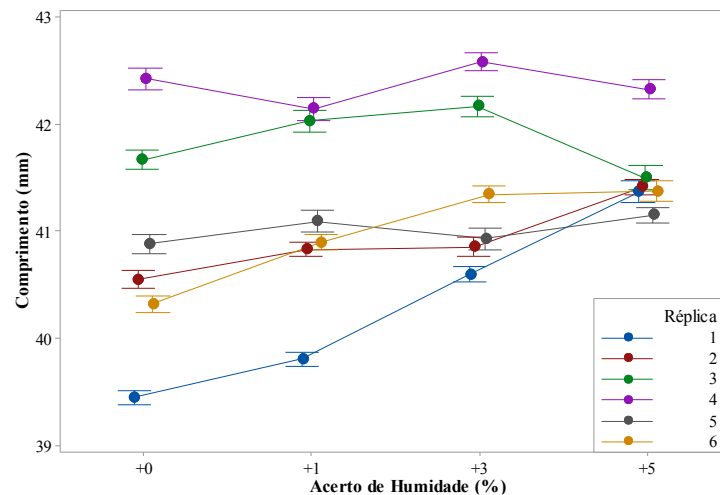


Figura 7.27 - Variação do Comprimento dos corpos de cada réplica em função do Acerto de Humidade de cada mistura ($n=60$ por mistura).

Verifica-se que o ensaio 4, com massa volúmica de granulado superior, apresenta um comportamento diferente dos restantes uma vez todos os outros ensaios convergem para aproximadamente o mesmo valor de comprimento para a mistura com acerto +5%, cerca de 41 milímetros.

Constata-se um aumento de comprimento com o aumento de adição de água tanto maior quanto menor for a expansão dos corpos para a mistura sem adição de água (destaque para a réplica 1). Este efeito é visível quando as seis réplicas são analisadas em função do acerto, Figura 7.28.

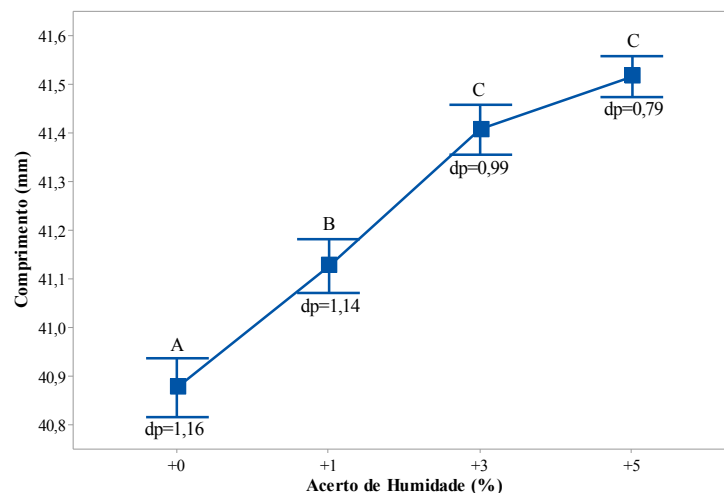


Figura 7.28 - Variação do Comprimento dos corpos em função do Acerto de Humidade para as seis réplicas ($n=360$ por acerto de humidade).

Além de se verificar um aumento do comprimento médio, também se constata uma tendência de diminuição de variabilidade com a adição de água. Com a adição de água, os corpos convergem para o mesmo valor de comprimento (com exceção da réplica 4, uma análise com exclusão desta réplica revela uma diferença estatisticamente significativa entre todos os valores de acertos de humidade).

Retração

Uma vez que o valor de retração é dependente da temperatura, e em específico da temperatura ambiente, efeito verificado no Capítulo 7.1.2-Influência da Temperatura Ambiente na Retração, o valor de retração médio de cada réplica foi influenciado por este parâmetro uma vez que os ensaios foram executados em dias diferentes. No entanto, entre as misturas de cada réplica, esta influência não se verifica uma vez que os corpos foram extraídos com intervalos de tempo reduzidos.

Assim, analisando a retração entre misturas, verifica-se uma tendência de diminuição de retração com o aumento da adição de água. A Figura 7.29 ilustra esta relação.

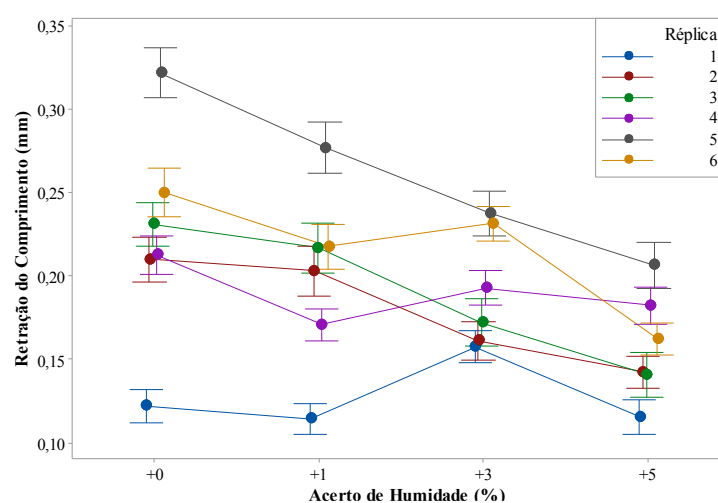


Figura 7.29 - Variação da Retração do Comprimento dos corpos de cada réplica em função do Acerto de Humidade de cada mistura (n=60 por mistura).

Em todos os ensaios a retração do comprimento foi inferior nas misturas com acerto de humidade +5% face às misturas sem acerto, sendo que nos ensaios 2, 3 e 5 se verifica uma diminuição progressiva da retração do comprimento com o aumento da adição de água.

A figura 7.30 representa a análise da retração do comprimento em função do acerto de humidade para as seis réplicas.

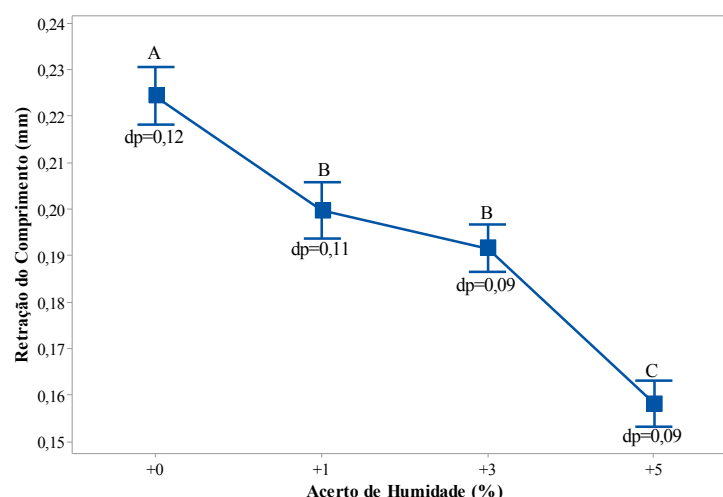


Figura 7.30 - Variação da retração do comprimento dos corpos em função do acerto para as seis réplicas ($n=360$ por acerto de humidade).

Constata-se uma diferença estatisticamente significativa em relação à média e variância de retração das misturas com acerto +0% face às misturas com acerto +5%, na medida que as últimas apresentam menor retração e variabilidade de retração.

Humidade

A humidade dos corpos é um parâmetro importante para o controlo de qualidade. A especificação de produto final é de 4-9%. Sendo mais preocupante o limite inferior, uma vez que é mais difícil aumentar a humidade dos corpos do que fazê-la decrescer. À saída dos processos de aglomeração, e após estabilização, pretende-se que os corpos possuam uma humidade quanto mais alta possível para que no final do processo esta se encontre acima do limite inferior de especificação.

Na Figura 7.31 encontram-se representadas as humidades dos corpos, de cada mistura e para cada réplica, nos tempos 0 e 24 horas. De realçar que o aparelho *Medcork* possui um limite de medição de humidade (10,7%), também representado na figura.

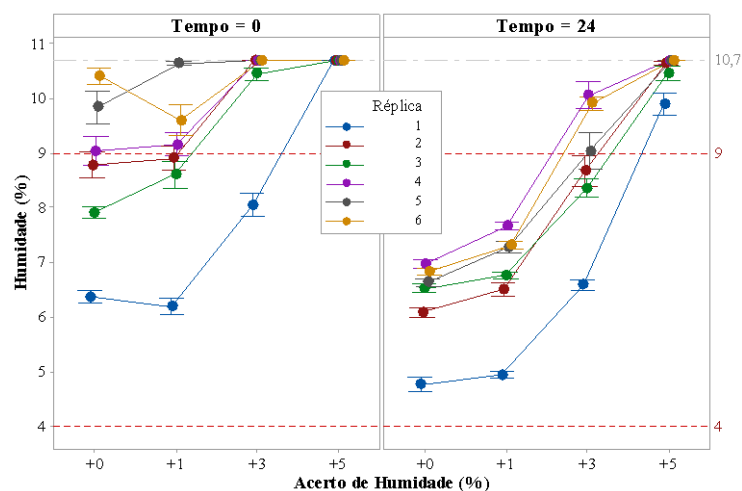


Figura 7.31 – Variação da Humidade dos corpos, de cada réplica em função do acerto de Humidade de cada mistura para o tempo 0 horas e tempo 24 horas (n=10 por mistura).

A limitação de medição referida dificultou a análise desta característica dos corpos, dado que no tempo 0 horas, apenas para as misturas com acerto +0% e +1% se verificou uma média de humidades inferior a 10,7% para todas as réplicas. Ainda assim, é possível verificar uma concordância entre as humidades de granulado e as humidades dos corpos medidas e um aumento da percentagem de humidade dos corpos com o aumento da adição de água.

Entre o tempo 0 e o tempo 24 horas verifica-se um decréscimo, em média, de cerca de 2% no valor de humidade (tendo apenas em consideração as misturas com acerto +0% e +1%).

Através da análise após estabilização, é corroborada a influência do acerto de humidade na humidade dos corpos. Os corpos produzidos com misturas com acerto +3% apresentam um valor de humidade 40% superior aos corpos produzidos com misturas sem acerto de humidade.

Todos os corpos produzidos com acerto +5% apresentam humidades acima do limite de medição à exceção dos corpos referentes à réplica 1. Os corpos desta réplica apresentam um aumento de 110% do valor de humidade entre a mistura com acerto +5% e a mistura com acerto +0%, referentes a uma diferença de mais de 5% de humidade em valor absoluto.

Em suma os corpos produzidos sem adição de água apresentaram uma média de humidades de 6% após 24 horas, um valor próximo do limite inferior de especificação. Com a passagem pelas restantes etapas do processo a humidade destes corpos poderia baixar para valores inferiores a 4%.

Quanto maior for a adição de água à mistura, maior será a humidade dos corpos após estabilização e maior será a margem desta característica ao longo das etapas seguintes.

Absorção

O parâmetro de Absorção foi medido após estabilização e retificação dos corpos para as dimensões 38x24. Os resultados obtidos encontram-se representados na Figura 7.32. Não foi possível obter os valores de absorção da réplica 6.

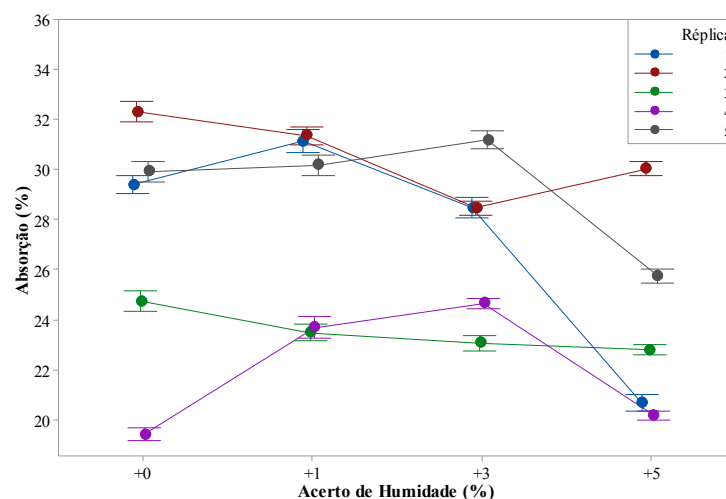


Figura 7.32 - Absorção das rolhas(38x24) de cada réplica em função do acerto ($n=50$ por mistura).

A absorção média de todas as rolhas medidas é de 27%. Verifica-se uma discrepância entre as réplicas 3 e 4, que apresentam absorções médias entre 22% e 24%, e os restantes ensaios que apresentam absorções médias entre 27% e 31%. Assim, não assumindo o ensaio 5, verifica-se um valor de absorção menor para as rolhas produzidas com granulado com humidade superior e um valor de absorção superior para as rolhas produzidas com granulado com humidade inferior.

Em relação à influência do acerto de humidade constata-se uma tendência de diminuição do valor de absorção com o aumento da adição de água, Figura 7.33.

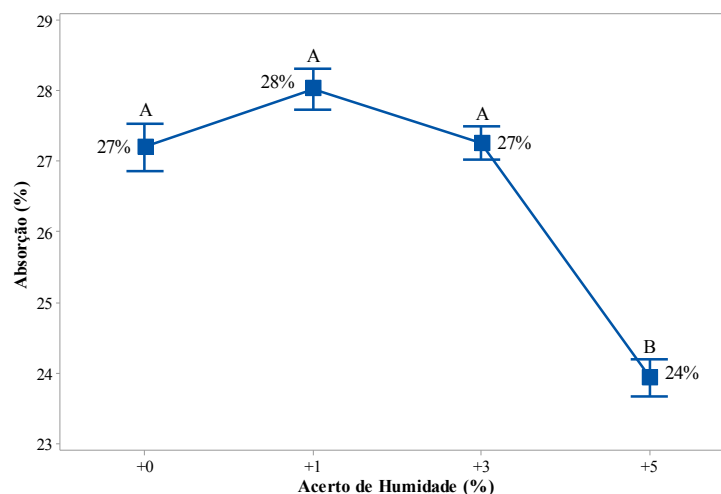


Figura 7.33 - Variação da retração do comprimento dos corpos em função do acerto para as seis réplicas ($n=250$ por acerto).

A tendência é verificada essencialmente para as misturas com acerto de humidade +5%. As rolhas produzidas a partir destas misturas apresentam uma diferença estatisticamente significativa, da média dos valores de absorção, face às restantes.

Correlações entre as respostas dos corpos e o parâmetro de absorção

Tendo como base o conhecimento adquirido no Capítulo 7.1.1, relacionado com o comportamento dos corpos de Moldação, foi realizada uma análise estatística para aferir possíveis relações entre as respostas dos corpos e o parâmetro de absorção.

Nas Figuras 7.34 e 7.35 encontra-se a análise efetuada para os corpos da Réplica 1 e misturas com acerto de humidade +0% e +5%, respetivamente.

De realçar que as características massa, volume e massa volúmica, se referem às medições efetuadas aos corpos no tempo 0 horas. O parâmetro de absorção foi medido nos corpos retificados para as dimensões 38x24, após 24 horas de estabilização (os corpos após retificação são apelidados de rolhas).

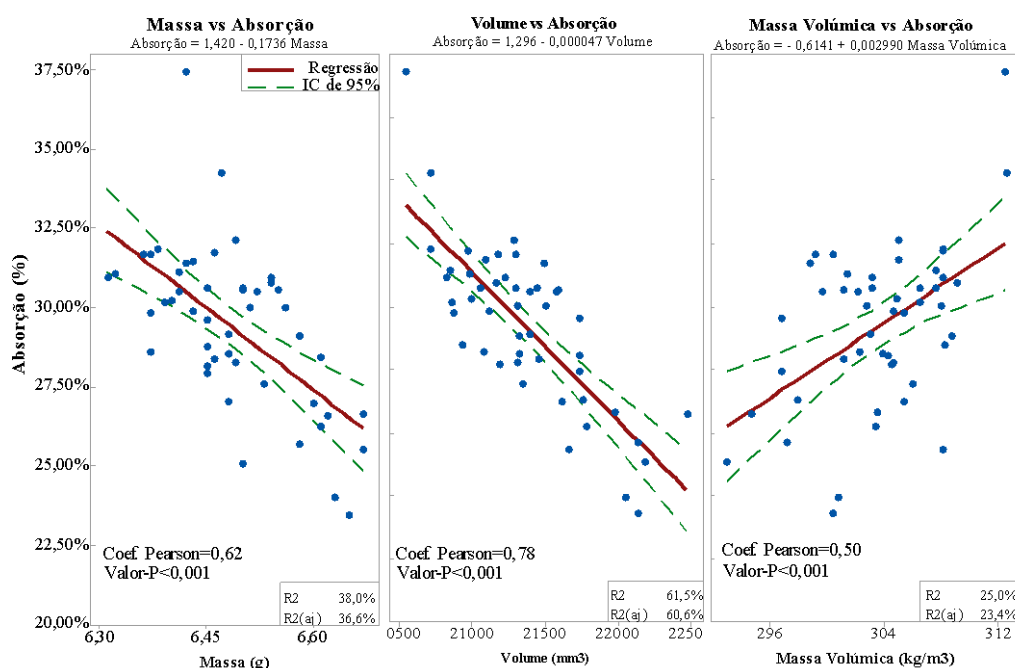


Figura 7.34 - Correlações entre o parâmetro de Absorção e as respostas dos corpos: Massa, Volume e Massa Volúmica. Análise efetuada para os corpos da Réplica 1, mistura com acerto +0%. (n=50).

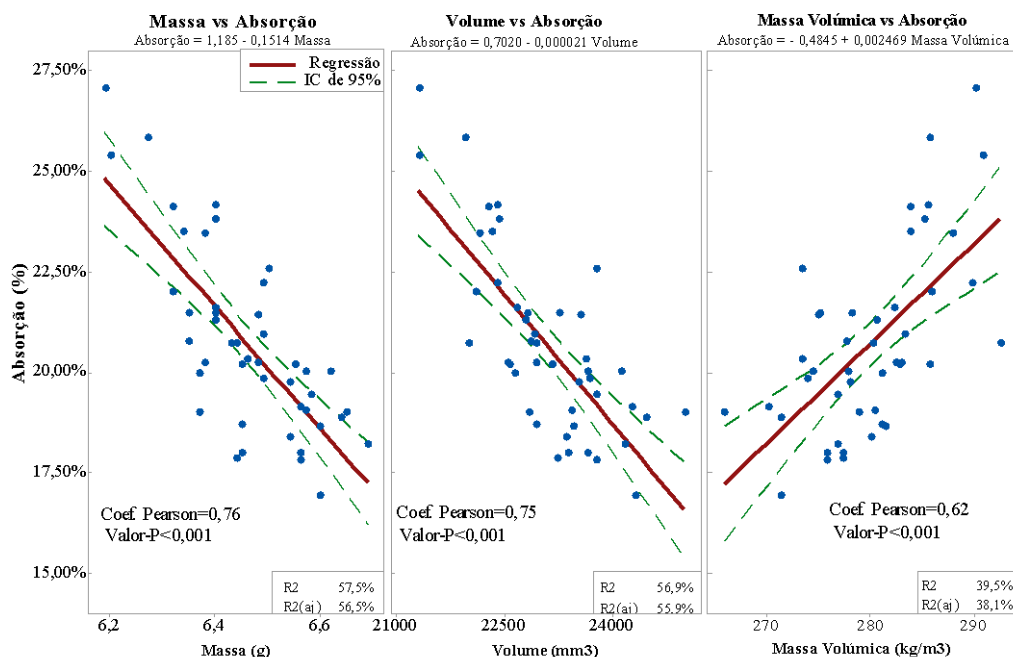


Figura 7.35 - Correlações entre o parâmetro de Absorção e as respostas dos corpos: Massa, Volume e Massa Volumica. Análise efetuada para os corpos da Réplica 1, mistura com acerto +5%. (n=50).

Após determinação das relações existentes entre a massa, dimensões e massa volumica dos corpos de Moldação: quanto maior a massa de um corpo, maior serão as suas dimensões e menor será a sua massa volumica. Os resultados agora apresentados revelam a correlação existente entre a absorção das rolhas e estas características: com o aumento de massa, e o consequente aumento de dimensões e diminuição de massa volumica, o parâmetro de absorção melhora. Esta relação verifica-se para todos os corpos medidos, para cada mistura e réplica, sendo que as forças das correlações variam mas o sentido verifica-se o mesmo. Este resultado corrobora a tendência exposta no Capítulo 5.5.2, através da análise aos dados históricos, de diminuição do valor de absorção com o aumento de massa dos corpos de Moldação.

Assim, verifica-se uma diferença importante entre o comportamento dos corpos de Moldação e Extrusão face ao parâmetro de absorção. Apesar deste fenómeno melhorar, em ambos os processos, com o aumento de massa dos corpos, significa que no processo de Extrusão quanto maior for a massa volumica dos corpos melhor será o valor de absorção (Gomes, 2015), enquanto que no processo de Moldação quanto menor for a massa volumica dos corpos, motivada pelo aumento de massa por molde, melhor será o valor de absorção (para a gama de valores estudados).

Sugestões de Melhoria

O acerto de humidade no processo de Moldação está limitado até 3%. Tendo em conta os resultados expostos a adição de uma maior percentagem de água à mistura para produção de corpos com granulado do tipo RA não influencia negativamente as respostas dos corpos estudados. Pelo contrário, permitiu

reduzir a variabilidade das dimensões, diminuir o fenómeno de retração, aumentar a humidade dos corpos e melhorar o parâmetro de absorção.

A sugestão apresentada prende-se com a adição de uma maior percentagem de água na produção de corpos com este tipo de granulado, principalmente quando se verificam humidades de granulado baixas. Esta adição pode ser efetuada na Misturadora Superior, procedimento atual, ou na tolva que antecede o Tegão de Alimentação (o segundo método permite uma adição contínua de água, no entanto carece de evidências de que os resultados seriam similares ao primeiro).

Seria essencial um sistema de identificação de big-bags com humidades fora de especificação (limite inferior) para que nestes casos fosse adicionada uma maior percentagem de água ou, em alternativa, um sistema de controlo de processo por big-bag.

7.4 Estudo da Variável Temperatura de Reação

A temperatura de reação é uma variável importante para os processos de aglomeração uma vez que atua como catalisador da reação de aglomeração. Foi estudada a temperatura de reação nas várias fases do processo de Moldação bem como as variáveis e condições operatórias que a influenciam ou lhe incutem variabilidade.

7.4.1 Caracterização das Temperaturas de Reação

O Ciclo Completo diz respeito ao percurso dos corpos, dentro dos moldes, entre a fase de prensagem e extração. Este percurso, representado na Figura 7.36, inclui a passagem pelo Forno Quente e Forno Frio, cujas temperaturas são reguladas mediante as leituras efetuadas por sondas no seu interior, e pela zona Fora dos Fornos (zona de prensagem e extração), que se encontra exposta ao meio ambiente. Assim, os corpos experienciam diferentes temperaturas, entre a prensagem do granulado nos moldes e a sua extração, segundo a passagem pelas diferentes zonas.

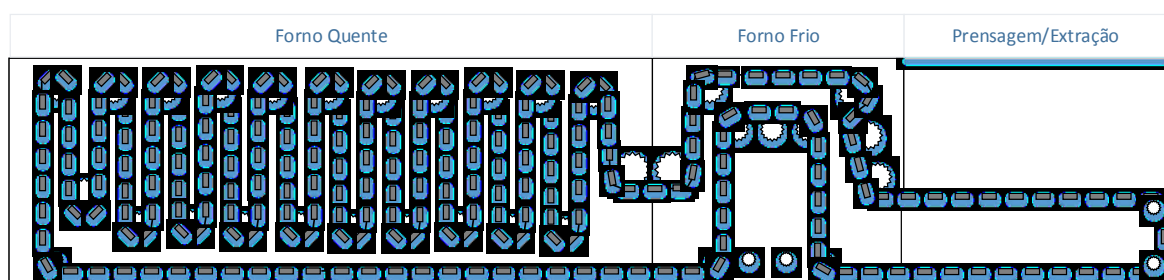


Figura 7.36 - Representação do ciclo efetuado pelos moldes entre a fase de prensagem e extração.

Para caracterizar esta variação de temperatura foi utilizada a sonda *IButton* que, acoplada a um conjunto de moldes, registou a temperatura experienciada pelos moldes ao longo do seu percurso pelas diferentes zonas da moldadora através de medições espaçadas em 30 segundos. A Figura 7.37 ilustra a variação de temperaturas tipicamente experienciada por um Ciclo Completo da moldadora. Os ciclos da moldadora foram definidos entre os valores mínimos de temperatura registados pela sonda.

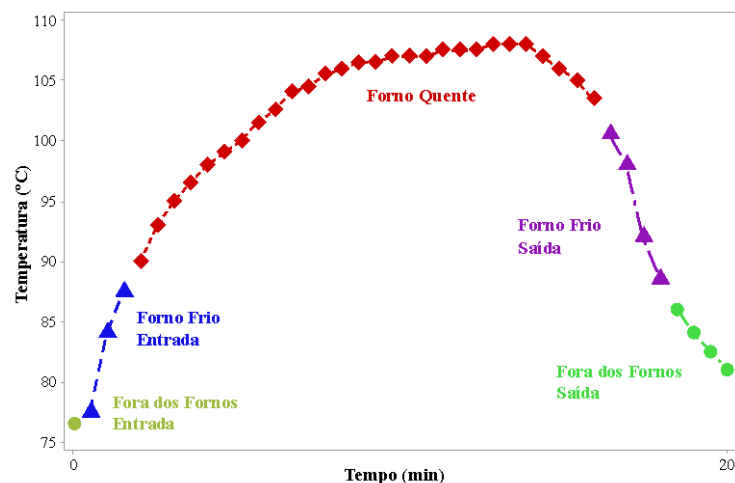


Figura 7.37 – Exemplo de um Ciclo Completo e das temperaturas experienciadas pelos corpos nas várias zonas da moldadora. Dados obtidos através da utilização da sonda IButton.

A zona que antecede a fase prensagem, Fora dos Fornos Entrada, refere-se ao momento em que os moldes se encontram a uma temperatura mínima. De seguida entram no Forno Frio Entrada, local onde a temperatura começa a aumentar. No Forno Quente percorrem o circuito até à extremidade da moldadora, local onde se verifica a temperatura máxima. A partir do momento em que iniciam a sua viagem de regresso, ainda no Forno Quente, a temperatura começa a diminuir uma vez que os moldes regressam pela zona inferior do mesmo. Quando os moldes atravessam novamente o Forno Frio verifica-se o decréscimo mais acentuado da temperatura. Por fim, seguem para a zona Fora dos Fornos Saída, local onde se dá o término do ciclo através extração dos corpos dos moldes.

Foram analisadas as temperaturas registadas pela sonda ao longo de dois dias de produção. A Figura 7.38 ilustra os resultados obtidos. De realçar que os set-points das temperaturas de Forno Frio e Forno Quente foram mantidos constantes. Os desvios motivados por paragens da moldadora foram removidos desta análise visto introduzirem uma variação significativa nas temperaturas experienciadas pelos corpos.

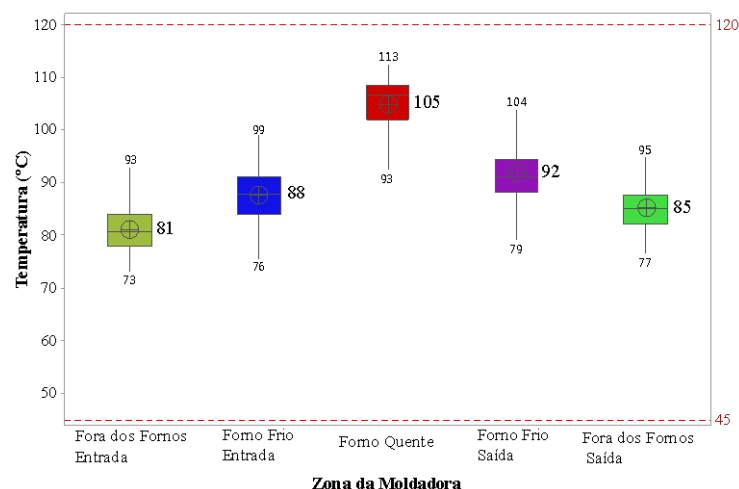


Figura 7.38 - Temperaturas registadas, por zona da moldadora, ao longo dos ciclos de dois dias de produção. A linha tracejada representa os set-points das temperaturas de Forno Frio e de Forno Quente.

Verifica-se uma discrepância entre os valores medidos pelas sondas da moldadora e as temperaturas reais da reação (temperaturas medidas pela sonda *IButton*). A Temperatura de Forno Frio está definida para 45°C, no entanto a temperatura mínima experienciada pelos moldes nesta zona foi de 76°C. No Forno Quente a média da temperatura foi de 105°C e o máximo atingido de 113°C, valores em discordância com o set-point definido para 120°C.

Sugestões de Melhoria

A sugestão apresentada prende-se com a calibração das sondas dos fornos para a temperatura real da reação. O ajuste da Temperatura de Forno Quente deve ser considerado, mantendo presente a sua influência nas características dos corpos produzidos, Capítulo 5.3-Moldação.

7.4.2 Análise de Variabilidade da Temperatura de Reação

A análise dos dados obtidos colocou em evidência uma variabilidade considerável das temperaturas de reação. Através da caracterização do processo de Moldação pressupõe-se que a variabilidade verificada se deve à Temperatura de Forno Frio, condição operatória considerada como uma das possíveis causas da variabilidade de dimensões dos corpos (diagrama de Ishikawa em anexo A).

Uma evidência que corrobora este pressuposto é a análise das temperaturas de reação em função do turno de produção, Figura 7.39.

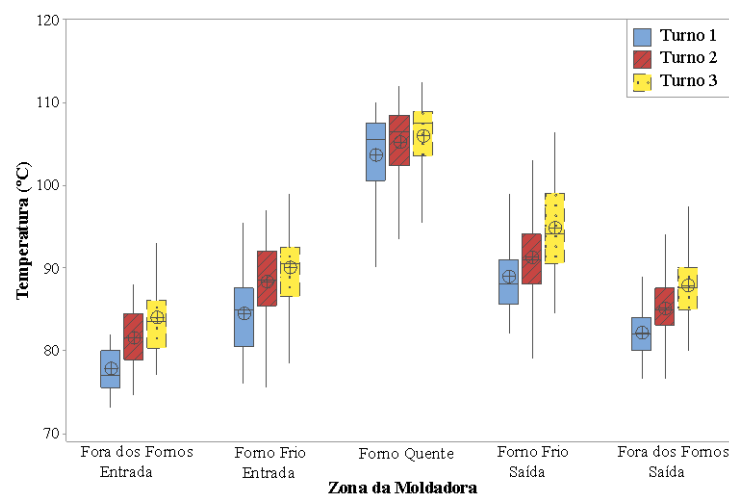


Figura 7.39 - Temperaturas de reação por Zona da Moldadora para cada Turno de produção.

Verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre as médias de temperatura referentes a cada turno de produção. A média de temperatura de reação do Turno 3 é superior à média de temperatura de reação do Turno 2, que por sua vez é superior à média de temperatura do Turno 1. Esta relação também é constatável quando analisada separadamente cada zona da moldadora.

As temperaturas de reação aparentam ser dependentes da temperatura ambiente dado que a temperatura sentida na fábrica TT varia de forma semelhante entre os turnos de produção, Figura 7.40.

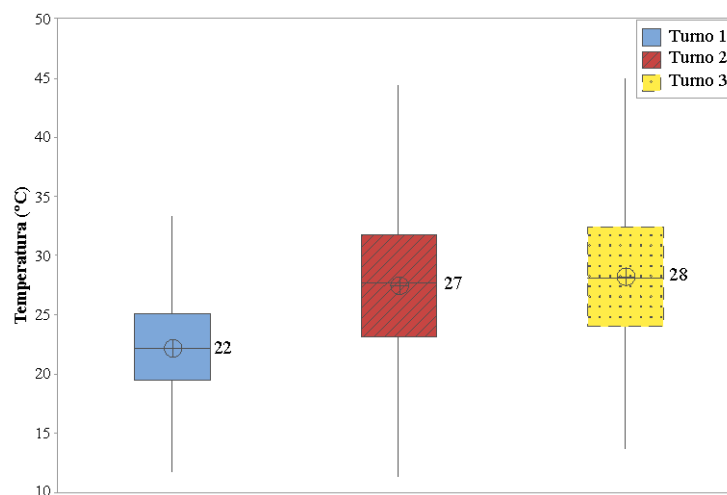


Figura 7.40 - Temperaturas registadas na fábrica TT, entre os meses de Fevereiro e Julho de 2017, em função do turno de produção.

Dado que a Temperatura de Forno Frio é uma condição operatória regulada pela extração de ar ambiente, apresenta-se como uma potencial causa da variabilidade de temperaturas identificada. Mais concretamente a sua ineficácia em atingir o set-point de 45°C.

Ensaio de Variabilidade de Temperatura de Forno Frio

Com vista a validar a hipótese discutida foi realizado um ensaio em que foram mantidas, durante o mesmo período tempo (dois dias), dois set-points de Temperatura de Forno Frio: 45°C e 60°C.

Para esta análise foram considerados os ciclos com Tempo de Residência máximo de 20 minutos, com vista a desconsiderar o ruído provocado por eventuais paragens da moldadora.

A média de temperaturas de reação, e a sua amplitude, para cada set-point está representada na Figura 7.41. Os dados apresentados referem-se a 160 ciclos da moldadora (para cada set-point).

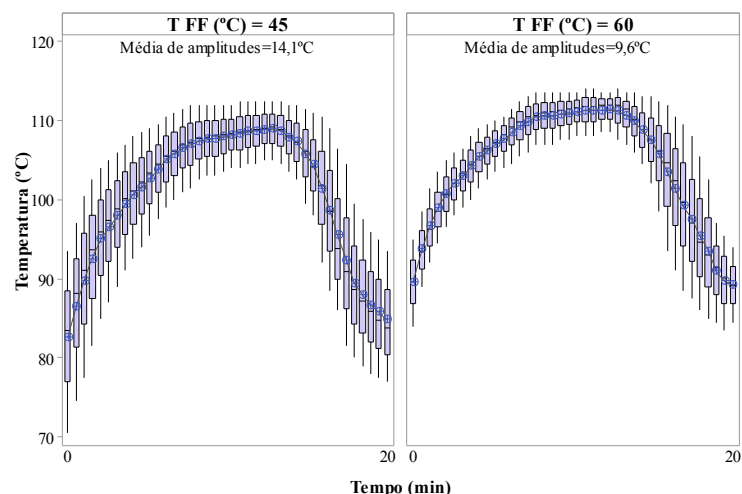


Figura 7.41 – Temperaturas de reação verificadas, em 160 ciclos da moldadora, em função do set-point da Temperatura de Forno Frio (45°C e 60°C).

A amplitude de temperaturas em cada momento dos ciclos da moldadora (40 medições por ciclo, de 30s em 30s) foi inferior com a Temperatura de Forno Frio a 60°C. A diferença de amplitudes é mais significativa no início e fim dos ciclos (zona de Forno Frio), no entanto verifica-se também uma diminuição da variabilidade das temperaturas de Forno Quente com o set-point de 60°C

Este resultado também se verifica quando analisadas as temperaturas de reação em função do turno de produção, Figura 7.42.

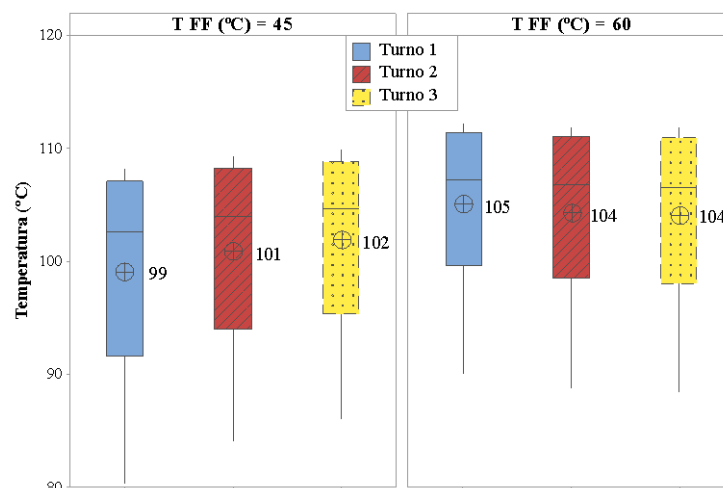


Figura 7.42 - Temperaturas de reação, por turno de produção, em função do set-point da Temperatura de Forno Frio (45°C e 60°C).

As temperaturas médias apresentaram menor variabilidade entre turnos de produção. Foi também notória uma diminuição da variabilidade das temperaturas medidas no Turno 1.

Assim foi validada a hipótese de que a Temperatura de Forno Frio definida para 45°C incute maior variabilidade nas temperaturas de reação (nas várias zonas da moldadora e entre turnos de produção). Esta variabilidade deve-se ao facto do set-point definido não ser atingível nos turnos de produção: Turno 2 e Turno 3.

7.4.3 Estudo da Condição Operatória Temperatura de Forno Frio

Tendo verificado a variabilidade incutida pela condição operatória Temperatura de Forno Frio (Temperatura de FF), foi realizado um ensaio que visa aferir o impacto da oscilação deste valor nas características dos corpos produzidos.

Com vista a garantir a uniformidade da matéria-prima foi utilizado apenas um big-bag, caracterizado em relação à sua humidade e massa volúmica em três posições distintas (procedimento idêntico ao efetuado no Capítulo 7.3).

Neste ensaio foram extraídos dois conjuntos de corpos, produzidos com set-point de Temperatura de FF de 45 e 60°C. A sonda *IButton* foi novamente utilizada com vista a analisar as temperaturas experienciadas por cada conjunto de corpos.

Ensaio 1

Na Tabela 7.5 estão expostas as médias de humidade e massa volúmica corrigida do granulado utilizado.

Tabela 7.5 - Ensaio 1: Características do granulado utilizado.

Humidade (%)	Massa Volúmica corrigida (kg/m ³)
7,7	69,7

Na Figura 7.43 encontram-se os ciclos efetuados pelos dois conjuntos de corpos analisados.

Na legenda da figura encontra-se o tempo decorrido entre a fase de prensagem e extração, Tempo de Residência. A influência desta oscilação é discutida no Capítulo 7.5-Estudo da Variável Tempo de Residência.

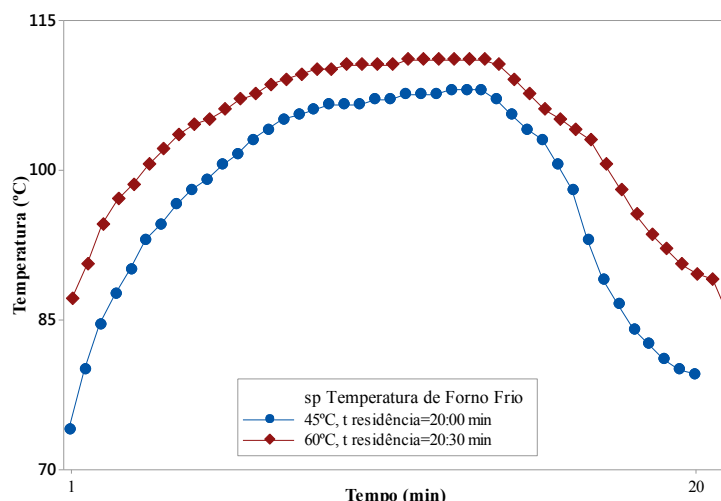


Figura 7.43 - Ensaio 1: Temperaturas experienciadas pelos corpos em função do set-point da Temperatura de Forno Frio ($n=60$ por sp FF).

A média de temperatura de reação da amostra com set-point de Temperatura de FF de 45°C foi inferior à média de temperatura sentida pelo conjunto de corpos extraídos com a Temperatura de FF de 60°C, 92°C e 107°C respetivamente. Esta relação apura-se em todas as zonas da moldadora, sendo que o maior valor de amplitude, de cerca de 12°C, se verifica na zona FF Saída.

Expansão

Os corpos produzidos com um set-point de Temperatura de FF superior apresentaram maior expansão. Esta relação encontra-se evidenciada na Figura 7.44 onde se compara a expansão do comprimento para as duas amostras.

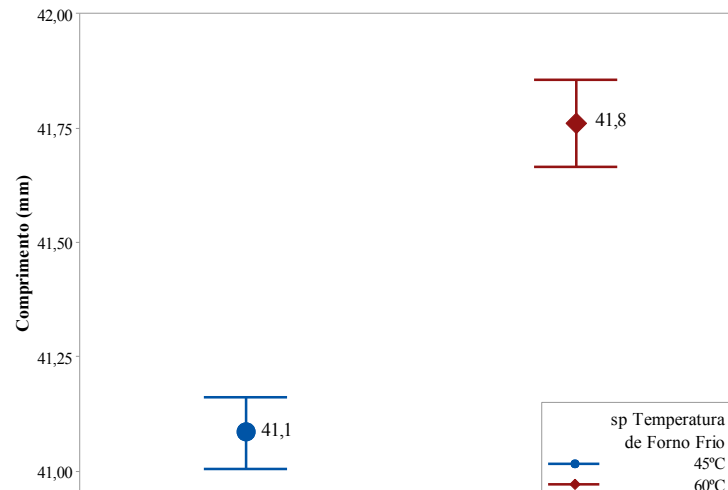


Figura 7.44 - Ensaio 1: Expansão do Comprimento em função do set-point de Temperatura de Forno Frio ($n=60$ por sp FF).

Verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre os dois conjuntos, que se traduz numa diferença, em média, de aproximadamente 0,7 milímetros no comprimento dos corpos. O aumento de 15°C na Temperatura de FF provocou, em média, um aumento do volume de cerca de 3% e uma diminuição da massa volúmica dos corpos de 5%. De destacar que o aumento do volume e diminuição de massa volúmica se verificou mesmo constatando-se uma média de massa superior nos corpos produzidos com Temperatura de FF de 45°C (diferença de cerca de 0,15 gramas).

Retração

O fenómeno de retração é avaliado na Figura 7.45 através da comparação da retração do comprimento.

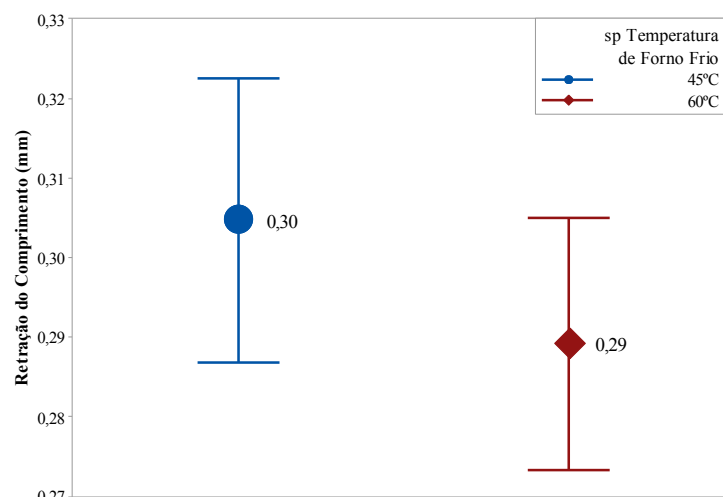


Figura 7.45 - Retração do comprimento em função do set-point de Temperatura de Forno Frio ($n=60$ por sp FF).

Não se verifica uma diferença estatisticamente significativa entre a retração dos corpos produzidos com os dois set-points de Temperatura de FF definidos.

Humidade

A humidade dos corpos, verificada 24 horas após extração, encontra-se representada na Figura 7.46.

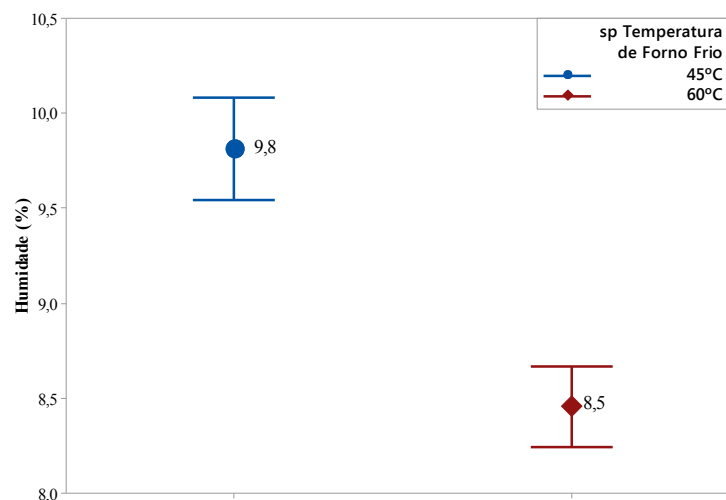


Figura 7.46 – Ensaio 1: Humidade dos corpos, no tempo 24 horas, em função do set-point de Temperatura de Forno Frio ($n=10$ por sp FF).

A avaliação desta característica foi limitada novamente pelo aparelho de medição *Medcork*, não permitindo a distinção entre as humidades dos dois grupos no tempo 0 horas (Valor máximo de leitura < Valor dos corpos no tempo 0 horas). Ainda assim verifica-se uma diferença estatisticamente significativa das humidades dos dois conjuntos após 24 horas. Os corpos produzidos com Temperatura de FF de 60°C apresentaram uma média de humidades inferior em 13% face aos corpos produzidos com Temperatura de FF de 45°C.

Estes resultados encontram-se em concordância com o observado no Capítulo 7.1.2-Influência da Temperatura Ambiente, isto é quanto maior for a temperatura inicial experienciada pelos corpos maior será percentagem de perda de humidade. Sendo que neste caso, não foi avaliada a temperatura ambiente mas a temperatura dos próprios corpos à saída do processo, tal como ilustrado na Figura 7.43.

Absorção

Os resultados da medição do parâmetro de absorção das rolhas (após estabilização e retificação para as dimensões 38x24) encontram-se representados na Figura 7.47.

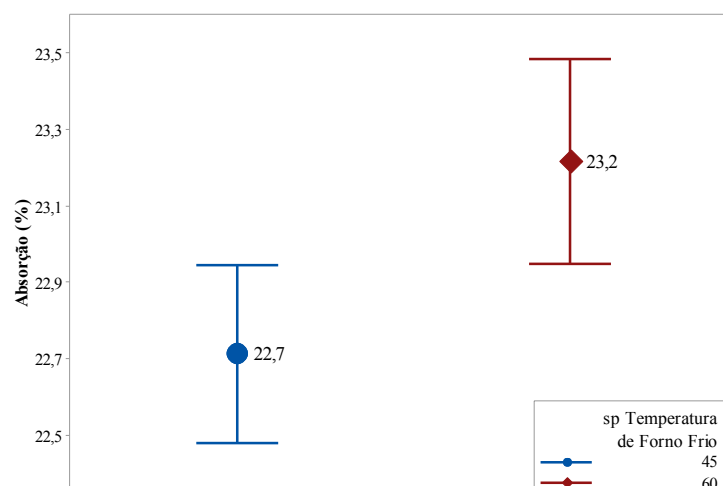


Figura 7.47 - Absorção das rolhas (38x24) em função do set-point da Temperatura de Forno Frio.

Apesar de se constatar uma diferença entre os valores das médias de absorções das rolhas, esta não é estatisticamente significativa. A desigualdade verificada pode ser resultado do maior valor de massa apresentado pelos corpos produzidos com set-point de Temperatura de FF de 45°C.

De destacar que as correlações entre as características iniciais dos corpos e os seus valores de absorção, discutidas no Capítulo 7.3-Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado, também foram confirmadas neste ensaio.

Sugestões de Melhoria

Tendo em conta a influência da Temperatura de Forno Frio nas temperaturas de reação dos corpos produzidos e consequentemente nas suas dimensões, sugere-se que seja eliminada a variabilidade imposta por esta condição operatória no processo para que a variabilidade de dimensões dos corpos seja reduzida.

Tal como comprovado, o método mais expedito para eliminar as oscilações da Temperatura de Forno Frio é a definição de um set-point que seja atingível em qualquer turno de produção. Desta forma a variabilidade de dimensões é minimizada e a interpretação dos dados de controlo de processo, e o seu relacionamento com as restantes variáveis e condições operatórias, é facilitada.

No entanto esta medida é apenas considerada devido às limitações atuais do sistema de arrefecimento do Forno Frio. O sistema de extração de ar, do pavilhão onde as moldadoras se situam, não permite o controlo da Temperatura de Forno Frio e o aproveitamento do seu potencial. Como discutido, a variação desta condição operatória permite manipular a expansão dos corpos e a sua massa volumica. Além disso não afeta a qualidade das rolhas, evidência verificada através da análise dos valores de absorção medidos. Por estes motivos, poderia ser uma condição operatória importante no controlo de processo, permitindo atuar mediante os dados obtidos e as características dos corpos pretendidas.

Para garantir um melhor funcionamento do sistema de ventilação do Forno Frio seria útil a extensão do sistema de extração, para que o ar fosse retirado de fora do pavilhão, ou a instalação de um sistema de ar arrefecido.

7.5 Estudo da Variável Tempo de Residência

Por Tempo de Residência entende-se o intervalo de tempo em que os corpos se encontram dentro dos moldes, entre as fases de prensagem e extração.

Este parâmetro depende, tal como referido no Capítulo 5.3.2-Tempos de Processo, do número de conjuntos de moldes da moldadora e da condição operatória Tempo de Ciclo. No entanto existe um fenómeno que influencia de forma preponderante o Tempo de Residência dos corpos nos moldes: paragem da moldadora.

Uma paragem da moldadora pode ser motivada por qualquer tipo de avaria, tal como: falha no sistema hidráulico, sobrecarga de corpos no tapete de extração, falha no sistema de identificação e contagem de moldes, falta de óleo de lubrificação de corrente, entre outros. Este tipo de paragens é imprevisível podendo ser apenas contrariada através de manutenção preventiva. Contudo existem paragens da moldadora que são premeditadas e recorrentes: a paragem para troca de cestos e a paragem para limpeza do Forno Frio. Estas foram identificadas como possível causa da variabilidade das dimensões dos corpos (diagrama de Ishikawa presente no Anexo A). De destacar que qualquer paragem da moldadora acarreta inevitavelmente um custo associado ao decréscimo de produção.

O Tempo de Residência foi estudado através da simulação de paragens da moldadora, objetivando-se aferir a influência do mesmo nas dimensões dos corpos e, em simultâneo, avaliar as consequências das paragens referidas.

Foi estudada a influência do Tempo de Residência por zona da moldadora. Para tal, em cada ensaio foi retirada uma amostra antes de se proceder à paragem da moldadora, Controlo, para comparação com o aumento de Tempo de Residência nas diferentes zonas da moldadora. As zonas estudadas e o número de conjuntos de moldes presentes em cada uma encontram-se ilustrados na Figura 7.48.

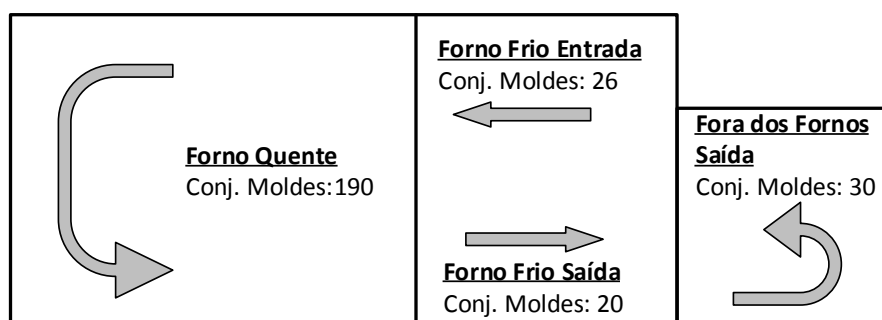


Figura 7.48 - Representação das zonas analisadas no Estudo da Variável Tempo de Residência.

7.5.1 Paragem de 1 minuto (Troca de Cestos)

A paragem para troca de cestos é um procedimento recorrente na produção contínua da moldadora. De acordo com os dados apresentados no Capítulo 5.3.5-Indicadores de produção, são realizadas entre quatro a cinco trocas de cesto por turno de produção. Este procedimento consiste, resumidamente: na paragem da moldadora; remoção do cesto cheio, com auxílio de empilhador; introdução de um cesto vazio na zona de saída da girafa; por fim, na retoma do funcionamento da moldadora.

Neste ensaio esta situação foi simulada mediante paragens de 1 minuto. Foram realizadas três réplicas com dimensão amostral de 100 corpos (20 por zona da moldadora). Na Figura 7.49 encontram-se representados os comprimentos dos corpos produzidos com maior Tempo de Residência, em cada zona, face ao comprimento dos corpos do grupo Controlo. De salientar que as características do granulado de entrada variam entre réplicas e são idênticas em cada réplica (mesma mistura) com o propósito de avaliar a influência da permanência do corpos em cada zona da moldadora independentemente das condições do processo (os gráficos são apresentados com escalas diferentes mas com a mesma amplitude).

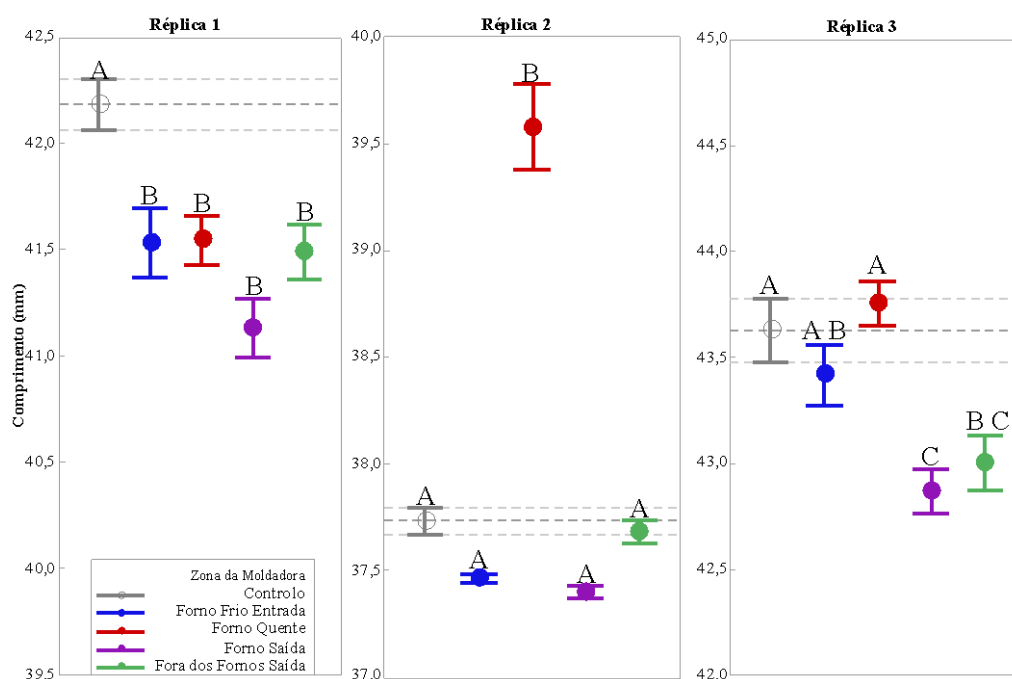


Figura 7.49 – Paragem de 1 minuto: Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora para cada réplica (n=20 por zona).

Verificam-se, em todas as réplicas, grupos com diferenças (das médias de comprimento) estatisticamente significativas face ao grupo Controlo.

Esta variação, face às dimensões do grupo Controlo, observa-se diferenciada entre zonas da moldadora. Os corpos com permanência no Forno Quente apresentaram uma média de comprimento mais próxima da média de comprimentos verificados para os corpos do grupo Controlo, com exceção do registado na réplica 2 onde os corpos apresentaram o único aumento significativo de comprimento

de todas as amostras, 1,8 milímetros. De realçar que os corpos da réplica 2 diferem dos demais devido ao seu valor, substancialmente inferior, de expansão.

Os corpos das restantes zonas apresentaram uma expansão do comprimento inferior à observada no respetivo grupo Controlo. Na réplica 1 os corpos apresentaram um comprimento inferior em cerca de um milímetro independentemente da zona da moldadora. Enquanto na réplica 3 se verificou o mesmo valor para as zonas mais próximas do fim do ciclo da moldadora, Forno Frio Saída e Fora dos Fornos Saída.

Em suma, o aumento do Tempo de Residência de apenas um minuto traduz-se num aumento de variabilidade das dimensões dos corpos presentes no circuito da moldadora nesse instante. A tendência observada é a de diminuição do comprimento dos corpos com o aumento do Tempo de Residência, contudo esta tendência não é igual entre as zonas da moldadora. Os corpos com permanência nas zonas de Forno Frio de Entrada e Forno Quente apresentaram um comportamento mais próximo dos corpos do controlo, por outro lado, os corpos que permaneceram nas zonas de Forno Frio Saída e Fora dos Fornos Saída registaram expansões inferiores.

Em relação à retração e perda de humidade dos corpos, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre as zonas da moldadora para as réplicas estudadas.

Sugestões de Melhoria

Tendo em conta as desvantagens das paragens da moldadora motivadas pela necessidade de troca de cestos foram desenvolvidas soluções que visam a eliminação desta paragem premeditada.

Como primeira abordagem foi desenvolvido um *Standard Work* (Anexo A) para este procedimento que não inclui a paragem da moldadora, em contrapartida sugere-se a paragem do tapete de extração. Porém o procedimento de paragem do tapete de extração, apesar de eliminar as paragens da moldadora, propicia o risco de avaria da moldadora por sobrecarga de corpos no tapete junto da zona de extração. Por conseguinte esta não se revela uma solução ideal a longo prazo.

Com vista a evitar o aumento de probabilidade de avaria, sugere-se a instalação de um sistema de saída dupla da girafa de transporte dos corpos para os cestos, Figura 7.50. O sistema proposto implica a alternância entre as duas saídas da girafa, que pode ser programada em função do tempo, da contagem de corpos ou manualmente.



Figura 7.50 - Saída dupla da girafa de moldadora da UI-De Sousa..

A implementação deste sistema, além das vantagens consequentes da eliminação da paragem da moldadora, permite facilitar o procedimento de troca de cestos e minimizar o tempo necessário para realizar esta função.

Através do contacto com fornecedores deste equipamento foi obtido um orçamento de 2000€ para integração da saída dupla da girafa. Tendo em consideração apenas quatro paragens de um minuto por turno de produção, quatro horas por mês, verifica-se um custo de produção, motivado pelas paragens da moldadora para troca de cestos, de 1900€ por mês. Assim, a implementação desta sugestão tem um *payback* de 21 dias e, posteriormente, significa um ganho de 23.000€ por ano.

7.5.2 Paragem de 5 minutos (Limpeza do Forno Frio)

A paragem para limpeza do Forno Frio está incluída no procedimento de limpeza da moldadora para remoção de desperdício. Este procedimento realiza-se no final de cada turno de produção.

O tempo de limpeza de Forno Frio depende da quantidade de desperdício originado pela produção da moldadora, no Capítulo 7.2-Estudo da Variabilidade de Massa foi atingida uma redução significativa do tempo despendido para esta tarefa. Ainda assim, mantém-se como o procedimento programado que implica um maior tempo de paragem da moldadora.

Foram realizados dois ensaios, com dimensões amostrais distintas, para aferir as consequências da paragem para limpeza do Forno Frio. De salientar que os ensaios foram realizados em simultâneo com as paragens efetivas para limpeza do Forno Frio. Estas diferem da paragem para troca de cestos, não só pelo tempo de paragem, mas também devido à abertura das portas do Forno Frio.

Ensaio 1

No primeiro ensaio foram realizadas três réplicas, com a mesma dimensão amostral do estudo da paragem para troca de cestos. Os resultados obtidos encontram-se representados na Figura 7.51.

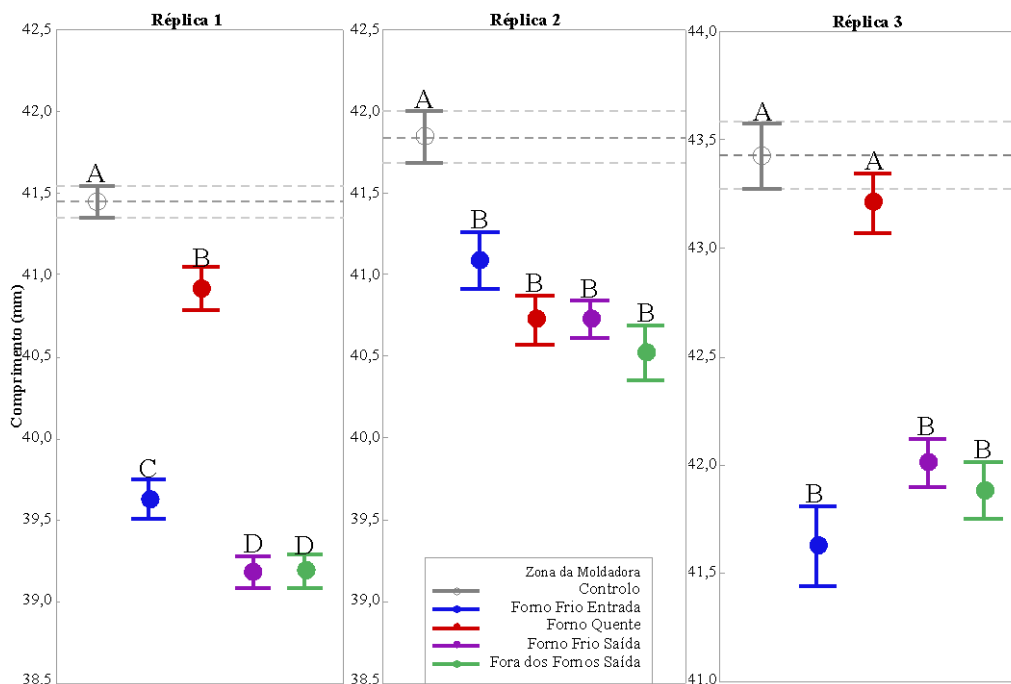


Figura 7.51 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 1): Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora para cada réplica (n=20 por zona).

Neste ensaio foram colocadas em evidência as consequências do aumento do Tempo de Residência dos corpos nos moldes. Os corpos de todas as zonas da moldadora apresentaram uma média de expansão do comprimento inferior ao respetivo grupo Controlo. De facto, apenas os corpos da zona de Forno Quente da réplica 3 não revelaram uma diferença estatisticamente significativa face ao grupo Controlo.

As tendências discutidas na análise das paragens para troca de cestos, relativas aos corpos com permanência prolongada em cada zona da moldadora, voltaram a manifestar-se. Os corpos com maior Tempo de Residência nas zonas Forno Frio de Entrada e Forno Quente manifestaram dimensões mais próximas dos corpos do respetivo grupo Controlo, com a ressalva de que os corpos da zona de Forno Frio Entrada apresentaram a maior diferença de comprimentos na réplica 3. Por outro lado, os corpos com permanência mais prolongada nas zonas Forno Frio Saída e Fora dos Fornos Saída apresentaram expansões mais díspares (inferiores) em relação aos corpos do respetivo grupo Controlo.

Na Tabela 7.6 encontram-se as médias de comprimento dos corpos das diferentes zonas da moldadora face ao grupo Controlo associado.

Tabela 7.6 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 1): Diferenças entre as médias de comprimento dos corpos de cada zona da moldadora e a média de comprimento dos corpos do respetivo grupo Controlo.

Zona da Moldadora	Comprimento médio face ao grupo Controlo (mm)		
	Réplica 1 (Controlo: 41,5 mm)	Réplica 2 (Controlo: 41,8 mm)	Réplica 3 (Controlo: 43,4 mm)
Forno Frio Entrada	-1,8	-0,76	-1,8
Forno Quente	-0,5	-1,2	-0,2
Forno Frio Saída	-2,3	-1,2	-1,4
Fora dos Fornos Saída	-2,3	-1,3	-1,5

Verificam-se reduções na expansão do comprimento, em média para cada réplica, entre um e dois milímetros. Sendo de registo a diminuição de cerca de 2,3 milímetros no comprimento dos corpos de Forno Frio Saída e Fora dos Fornos Saída na réplica 3. Assim, além da variabilidade nas dimensões dos corpos, coloca-se em questão a possibilidade do aumento da percentagem de defeitos de topo escasso motivados pela paragem para limpeza do Forno Frio.

Ensaio 2

O segundo ensaio teve como finalidade corroborar os resultados obtidos no primeiro ensaio e avaliar a hipótese de aumento da percentagem de defeitos com a paragem para limpeza de Forno Frio. Foi realizado o mesmo protocolo do primeiro ensaio, com uma dimensão amostral superior, $n=250$ (50 corpos por zona da moldadora).

Na Figura 7.52 apresentam-se as expansões do comprimento, de cada conjunto de corpos, em função da zona da moldadora.

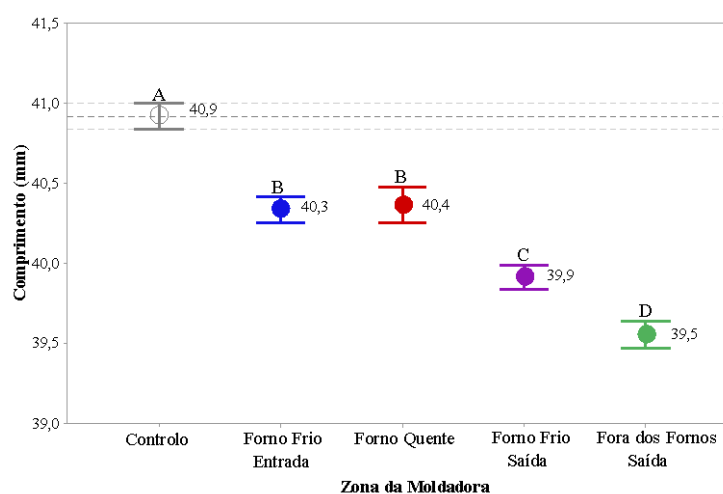


Figura 7.52 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 2): Expansão dos corpos em função da zona da Moldadora ($n=50$ por zona).

Todos os corpos com maior tempo de permanência no interior dos moldes apresentaram um decréscimo no valor de expansão, apresentando uma diferença estatisticamente significativa face ao grupo Controlo.

O grupo com maior discrepância do valor de comprimento foi o grupo Fora dos Fornos Saída, seguido do grupo Forno Frio Saída. De salientar que corpos referentes às zonas Forno Frio Entrada e Forno Quente não revelaram uma diferença estatisticamente significativa entre si.

Na Tabela 7.7 encontram-se as diferenças médias de comprimento dos corpos das diferentes zonas da moldadora face ao grupo Controlo.

Tabela 7.7 - Paragem de 5 minutos (Ensaio 2): Diferenças entre as médias de comprimento dos corpos de cada zona da moldadora e a média de comprimento dos corpos do grupo Controlo.

Zona da Moldadora	Comprimento médio face ao grupo Controlo (mm) (Controlo: 40,9 mm)
Forno Frio Entrada	-0,6
Forno Quente	-0,6
Forno Frio Saída	-1,0
Fora dos Fornos Saída	-1,4

Os resultados obtidos para os dois ensaios sugerem uma diferença no comportamento dos corpos mediante a temperatura experienciada. Quanto maior for o Tempo de Residência nas zonas de menor temperatura, antes de extração, menor será a expansão dos corpos. Enquanto que para zonas de maior temperatura, principalmente para o Forno Quente, este efeito é menos significativo.

Comparando os resultados da paragem para troca de cestos com os resultados da paragem para limpeza de Forno Frio, é perceptível que quanto maior for o Tempo de Residência menor será a expansão dos corpos, para todas as zonas da moldadora. Ou seja, com o aumento do tempo de permanência dos corpos nos moldes, as suas dimensões tendem a aproximar-se das dimensões dos moldes.

Análise de % Defeitos

Tendo em conta que as dimensões dos corpos se verificam inferiores, em todas as zonas da moldadora quando se procede à paragem para Limpeza do Forno Frio, é evidente que a percentagem de defeitos por topo escasso aumenta como resultado da mesma. Este aumento verifica-se mediante as dimensões dos corpos no momento da paragem, ou seja, quanto mais próximo estiverem do limite inferior de especificação maior será a probabilidade de se verificarem defeitos.

Com vista a avaliar esta hipótese foi realizada uma análise à percentagem de defeitos dos corpos de cada zona. Nesta análise foram estudados os corpos apresentados no segundo ensaio juntamente com um conjunto de corpos adicional (recolhido no mesmo momento que os primeiros). Em síntese foram

avaliados 500 corpos (100 por cada zona da moldadora) que, após estabilização foram retificados para as dimensões 38x24. A avaliação dos defeitos foi efetuada pela equipa de Controlo de Processo da UI-Equipar. Na Figura 7.53 encontram-se os resultados obtidos.

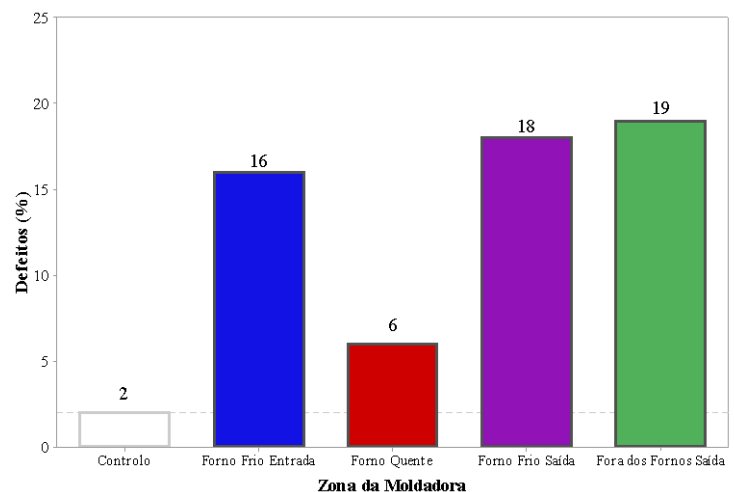


Figura 7.53 - Paragem de 5 minutos: Resultados obtidos da análise de defeitos por zona da moldadora (n=100 por zona).

De destacar que apenas se verificaram duas rolhas com defeito distinto do defeito de topo escasso. As rolhas referem-se à zona Forno Frio Entrada e o tipo de defeito foi cola.

Desta maneira, 97% dos defeitos observados foram defeitos de topo escasso, principal defeito do processo de Moldação, tal como referido no Capítulo 5.4.1-Defeitos.

Neste caso, a ocorrência deste defeito foi motivada pela redução da expansão provocada pela paragem para limpeza do Forno Frio. Todos os grupos analisados manifestaram percentagens de defeitos superiores ao observado no grupo de Controlo (2%). Na Tabela 7.8 encontra-se a comparação entre o número de corpos não conformes produzidos numa situação em que não se verifica-se a paragem da moldadora (com base na percentagem de defeitos do grupo Controlo) e numa situação em que se verifica paragem da moldadora para limpeza de Forno Frio (com base nas percentagens de defeitos das zonas averiguadas).

Tabela 7.8 - Paragem de 5 minutos: Comparação entre os custos das situações sem paragem da moldadora e com paragem da moldadora para Limpeza de Forno Frio para a análise de defeitos efetuada.

Zona	Número de corpos não conformes	
	Sem Paragem	Com Paragem para Limpeza de Forno Frio
Fora dos Fornos Entrada	5	5
Forno Frio Entrada	18	141
Forno Quente	167	502
Forno Frio Saída	23	206
Fora dos Fornos Saída	21	201
Total (% defeitos)	234 (2%)	1054 (9%)

Tendo em conta a paragem da moldadora analisada verifica-se que o número de corpos defeituosos aumentou em 4,5 vezes. Significando um aumento de produção de corpos defeituosos no valor de 800€ por mês (20 dias de trabalho).

De salientar que a diferença observada neste ensaio, entre as dimensões dos corpos e o grupo Controlo, é menos acentuada do que as verificadas nas réplicas do Ensaio 1.

Sugestões de Melhoria

A paragem para limpeza de Forno Frio implica uma consequente variabilidade de dimensões dos corpos. Nos ensaios realizados foram averiguadas as consequências nos corpos presentes no circuito da moldadora no momento da paragem, sendo averiguadas diminuições significativas de expansão que provocam um aumento da percentagem de defeitos.

Além das consequências verificadas é expectável que as dimensões dos corpos prensados a seguir à paragem também sejam afetadas: com a abertura das portas do Forno Frio a temperatura baixa sendo necessário um tempo de estabilização para que volte ao valor estabelecido, pelo que a produção da moldadora é afetada por tempo indeterminado; o tempo de consumo de mistura aumenta com o aumento do tempo de paragem, pelo que as duas misturas seguintes também são afetadas pela paragem. Em síntese, a paragem da moldadora incute variabilidade dos corpos presentes no momento da sua ocorrência e nos corpos produzidos de seguida.

O custo de produção associado a esta paragem, considerando cinco minutos por turno de produção, oito horas por mês, é de 2400€ por mês.

Para impedir as consequências negativas desta paragem foram pensadas em soluções para diminuir o desperdício de granulado na zona de Forno Frio para que consequentemente seja possível eliminar a necessidade deste procedimento. A sugestão apresentada no Capítulo 7.2-Variabilidade de Massa, de instalação de aspiração na zona frontal, permite atenuar esta situação. Contudo, prevê-se necessária a inclusão de um sistema de extração de desperdício de granulado na zona do Forno Frio. Como exemplo, encontra-se representado na Figura 7.54, um sistema que utiliza um sem fim colocado na zona de Forno Frio que permite a remoção contínua do granulado transportado pelos conjuntos de moldes para esta zona.



Figura 7.54 - Sistema de extração de granulado na zona do Forno Frio aplicada a uma moldadora da UI-De Sousa.

O orçamento previsto para aplicação desta ação de melhoria foi de cerca de 3000€. Tendo em consideração apenas o custo de produção das paragens para limpeza de Forno Frio, a aplicação deste sistema tem um *payback* de 25 dias e significa um ganho, posterior, de 28.500€ por ano.

7.5.3 Análise de Variabilidade da condição operatória Tempo de Ciclo

Nos estudos anteriores foram analisadas as consequências da variação do Tempo de Residência em paragens premeditadas da moldadora. Concluiu-se que a variabilidade do Tempo de Residência induz variabilidade nas dimensões dos corpos, mesmo para paragens breves (de um minuto).

Em produção contínua, a condição operatória Tempo de Ciclo é o parâmetro com maior influência no Tempo de Residência do processo de Moldação, tal como discutido no Capítulo 5.

Na Figura 7.55 encontram-se representados os Tempos de Residência de 505 ciclos da moldadora. Os dados, obtidos através das medições da sonda *IButton*, foram tratados com vista a remover a influência de paragens da moldadora. De destacar que as medições foram realizadas em intervalos de 30 segundos, justificação para as amplitudes de classes apresentadas.

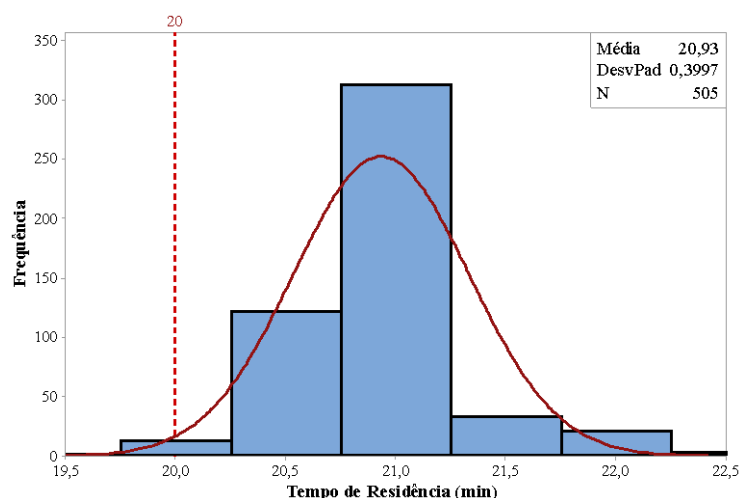


Figura 7.55 - Histograma de Frequência do Tempo de Residência verificado através dos dados da sonda *IButton*.

O set-point de Tempo de Ciclo (9 segundos) implica um Tempo de Residência de 20 minutos. No entanto, verifica-se que os tempos registados pela sonda se encontram acima deste valor devido à oscilação do Tempo de Ciclo. Como consequência desta oscilação os corpos apresentam Tempos de Residência e tempos de permanência em cada zona da moldadora variáveis entre ciclos completos.

Esta variabilidade do Tempo de Residência (com amplitudes de três minutos) implica, tal como já discutido, uma variabilidade de dimensões.

Sugestões de Melhoria

É importante definir um Tempo de Ciclo atingível para que a variabilidade do processo seja reduzida. No entanto esta é a condição operatória com maior influência na produção da moldadora, pelo que não é plausível aumentar o set-point definido. Assim, sugere-se a otimização das condições operatórias com influência no Tempo de Ciclo, Tempo de Permanência *Tandem* e Pausa da Gaveta, e a melhoria de performance do funcionamento hidráulico da moldadora, em concreto dos movimentos dos pistões de prensagem e de extração. O objetivo das ações de melhoria seria o de redução da variabilidade do processo e de aumento de produção da moldadora (com a vantagem de que com um Tempo de Ciclo estável é possível estimar com maior exatidão o número de corpos produzidos).

8 Conclusões

A nível pessoal, a realização da dissertação numa empresa multinacional permitiu, e potenciou, o desenvolvimento das mais variadas competências. Foi muito importante como primeira experiência profissional e terá um impacto importante no meu futuro.

Um dos objetivos do presente estudo incidiu sobre a caracterização e comparação entre os processos de aglomeração: Extrusão e Moldação. O processo de Moldação apresenta ainda uma margem de otimização considerável. Contudo o seu método de operação apresenta desde já vantagens relativamente ao processo de Extrusão, são exemplos: a autonomia e qualidade da fase de mistura, o reduzido tempo de consumo de mistura e a facilidade de manipulação do tempo de residência em fornos.

Além das principais diferenças verificadas no funcionamento de ambos os processos, tempos de processo, condições operatórias e controlo de processo, foram apuradas diferenças significativas nas relações entre as características dos corpos produzidos. Para o processo de Extrusão, o aumento de massa por corpo implica um aumento da sua massa volúmica. Em sentido contrário, no processo de Moldação, para uma determinada Taxa de Compressão, quanto maior for a massa de um corpo maior será a sua expansão e, conseqüentemente, menor será o seu valor de massa volúmica. Esta revela-se uma das principais diferenças entre o comportamento dos corpos produzidos por ambos os processos, tendo implicações na forma como se entende o parâmetro de absorção das rolhas. No processo de Extrusão, a absorção está diretamente relacionada com a massa volúmica dos corpos, quanto maior for a massa volúmica de um corpo, menor será a área de espaços vazios, e menor será o valor de absorção. O processo de Moldação revela-se distinto, neste, o principal fator com influência na absorção dos corpos mantém-se a massa por corpo, em específico a massa por volume de molde (efeito observado com o aumento da Taxa de Compressão). No entanto, com o aumento de massa por molde, a massa volúmica dos corpos diminui, pelo que a relação entre absorção e massa volúmica dos corpos de Moldação verifica-se no sentido oposto: quanto menor a massa volúmica de um corpo de Moldação (na gama de valores estudados), menor o seu valor de absorção.

A retração das dimensões dos corpos também foi analisada para os dois processos, sendo que em ambos, os corpos apresentaram comportamentos semelhantes: uma maior variabilidade e velocidade de retração nos tempos iniciais. Esta tendência deve-se ao fator temperatura. Através da análise da influência da temperatura ambiente na retração dos corpos foi possível concluir que a temperatura influencia a velocidade de retração (tal como influencia a velocidade de reação) e o potencial de retração dos corpos. De salientar que os corpos de Moldação apresentam um maior valor absoluto e variabilidade de retração do comprimento, enquanto que o processo de Extrusão apresenta maior variabilidade na retração do diâmetro.

Através da análise dos tipos de defeitos verificados pelos dois processos foi possível aferir que o processo de Moldação apresenta a vantagem de produzir corpos com uma menor variedade de defeitos.

Os principais defeitos da Moldação devem-se às características dimensionais dos seus corpos, em especial do seu comprimento. Assim, para que seja possível atingir o principal objetivo da empresa, redução do consumo específico de granulado, verifica-se a necessidade de redução da variabilidade das dimensões dos corpos de Moldação para que o índice de produtos conformes reduza e para que seja possível a definição de um *target* de dimensões mais apertado na retificação.

Ao longo do estudo foram analisados os parâmetros que têm influência na variabilidade do processo de Moldação.

Um dos parâmetros com maior influência nas dimensões dos corpos é a sua massa, verificando-se uma correlação forte e positiva entre as duas respostas. O processo de Moldação apresenta uma variabilidade de massa inerente ao próprio método de operação (introdução de massa nos moldes através da medição do volume), no entanto foi possível reduzir significativamente a variabilidade deste parâmetro. Em simultâneo, foi atingida uma diminuição do tempo de limpeza de Forno Frio e uma redução do desperdício de granulado que acrescentou um ganho à empresa de cerca de quinze mil euros por ano. É importante monitorizar a variabilidade de massa através de indicadores estatísticos e impedir o seu agravamento através de manutenção preventiva.

As características do granulado, humidade e massa volúmica, são variáveis com grande influência nas características dos corpos produzidos. Pelo que a variabilidade destas características, verificada à entrada do processo, é um fator que acrescenta variabilidade nos corpos produzidos. Foi estudada a influência da humidade do granulado (intrínseca e extrínseca), visto que se apresenta como um parâmetro crítico para a reação de aglomeração. Para o tipo de granulado estudado, a adição de água à mistura permitiu diminuir a variabilidade de expansão, diminuir o fenómeno de retração, aumentar o valor de humidade dos corpos e melhorar a sua qualidade (para uma determinada taxa de compressão, a humidade do granulado verificou-se como o fator com maior influência na absorção das rolhas). Conclui-se que a adição de água à mistura (humidade extrínseca) representa uma medida eficaz para atenuar o efeito da elevada variabilidade da humidade do granulado à entrada do processo. Para granulado com uma humidade de entrada reduzida, o aumento de humidade extrínseca revela-se fundamental, permitindo aumentar a expansão dos corpos e reduzir a percentagem de defeitos.

Os resultados parecem sugerir que a reação de aglomeração se verifica incompleta e que a retração dos corpos se deve à reação do aglomerante em excesso, uma vez que com a adição de água o valor de absorção diminuiu e o fenómeno de retração foi minimizado. Porém esta hipótese não se encontra provada, requerendo estudos futuros.

A temperatura de reação aumenta a cinética de reação de aglomeração. No processo de Moldação é importante distinguir as temperaturas de reação nas várias zonas da moldadora. Através dos ensaios desenvolvidos foi possível analisar as temperaturas reais de reação em cada zona e distingui-las dos valores devolvidos pelas sondas dos fornos. Foi possível verificar a variabilidade que a Temperatura de Forno Frio induz no processo. Esta condição operatória tem o potencial de ser incluída no controlo de processo permitindo o ajuste das características dos corpos de acordo com o pretendido. Encontrando-

se limitada pela temperatura ambiente, não atinge o set-point definido e introduz variabilidade no processo.

Uma das principais vantagens do processo de Moldação é a possibilidade de controlo do Tempo de Residência dos moldes nos fornos. Fator de difícil controlo no processo de Extrusão uma vez que o tempo de permanência em forno depende de diversas variáveis em simultâneo. O Tempo de Residência foi estudado mediante paragens da moldadora, sendo analisadas as consequências de paragens premeditadas e recorrentes da moldadora: paragem para troca de cestos e paragem para limpeza de Forno Frio. Conclui-se que, com o aumento do tempo de permanência dos corpos nos moldes o seu valor de expansão diminui, sendo este fenómeno mais evidente para a zona do Forno Frio e Fora dos Fornos e menos expressivo para a zona do Forno Quente. Este facto induz variabilidade no processo e propicia a produção de produtos não conformes. As desvantagens das paragens da moldadora foram expostas, sendo apresentadas soluções para a eliminação das mesmas. De realçar que as soluções apresentadas implicam tempos de *payback* inferiores a trinta dias e, em conjunto, implicam ganhos no valor de cinquenta mil euros por ano (tendo apenas em consideração o aumento de produção da moldadora motivado pela eliminação das paragens). Ainda assim, o Tempo de Residência induz variabilidade no processo devido à oscilação da condição operatória Tempo de Ciclo, tendo sido sugerida a sua otimização para que o potencial de manipulação do Tempo de Residência no processo de Moldação (ao centésimo de segundo) seja aproveitado para reduzir a variabilidade dos corpos produzidos.

Em síntese, a redução do consumo específico de granulado através da definição de um *target* de dimensões mais apertado na etapa de retificação carece da redução de variabilidade introduzida pelas condições operatórias do processo e do melhor controlo da variabilidade das características do granulado.

A curto prazo é possível a redução do consumo específico de granulado através da redução do diâmetro dos moldes. Verifica-se uma maior margem entre o diâmetro dos corpos produzidos e o diâmetro das rolhas produzidas por este processo e, em adição, verifica-se uma menor variabilidade desta dimensão no que toca à expansão e à retração dos corpos.

A redução do comprimento dos moldes também é uma hipótese a considerar. As conclusões obtidas no que se refere às correlações verificadas entre a massa, dimensões, massa volúmica e absorção, sugerem que a massa volúmica dos corpos de Moldação pode ser reduzida sem comprometer a qualidade das rolhas. Assim, a redução do comprimento dos moldes, em simultâneo com o aumento da Taxa de Compressão, permitem, em teoria, uma redução do consumo de granulado. Estas alterações permitiriam a obtenção de corpos com as mesmas dimensões mas com menor massa volúmica, possibilitando assim uma redução da massa perdida na etapa de retificação.

Em síntese, além do processo de Moldação apresentar um maior potencial de otimização, apresenta também indícios de uma maior capacidade de redução de consumo específico de granulado. A facilidade de controlo das condições operatórias do processo revela, mediante a redução de variabilidade

introduzida pelas mesmas, uma maior versatilidade do processo e uma maior capacidade para atenuar a variabilidade inerente às características do granulado.

9 Sugestões de Trabalho Futuro

As sugestões apresentadas neste capítulo surgiram das hipóteses e questões levantadas pelos estudos realizados e das oportunidades de melhoria identificadas, na presente dissertação, que não puderam ser analisadas em detalhe.

Estudo da Taxa de Compressão e hipótese de redução de massa volúmica dos corpos de Moldação

No processo de Moldação esta condição operatória (Taxa de Compressão) verifica-se muito influente, permitindo alterar significativamente as características dos corpos produzidos. Tendo como base a hipótese exposta, relativamente à redução do consumo de granulado mediante a redução do comprimento dos moldes e aumento da Taxa de Compressão (que permite uma redução da massa volúmica dos corpos), seria importante avaliar a variação das respostas dos corpos com a variação desta condição operatória.

Estudo do fenómeno de Topos Enviesados

Um dos aspetos que induz variabilidade e aumenta a percentagem de produtos não conforme, no processo de Moldação é a ocorrência de topos enviesados (ou flecha). Este fenómeno foi analisado, através da metodologia de Ishikawa, no entanto não foi possível a realização de ensaios. Foram aferidos como potenciais fatores com influência nos topos enviesados: a Pausa da Gaveta, o Tempo de Permanência Tandem, a Taxa de Compressão, o desgaste dos moldes e o movimento de fecho dos moldes na fase de prensagem. Sugere-se a caracterização desta característica dos corpos.

Estudo da irregularidade dos corpos (ovalidade)

Ao longo do estudo denotou-se uma maior irregularidade dos corpos de Moldação face aos corpos produzidos por Extrusão. A caracterização das causas desta irregularidade permitiria um melhor entendimento do processo de Moldação, da reação de aglomeração, e consequentemente com a sua atenuação, a redução a percentagem de defeitos por ovalidade. Esta irregularidade poderá estar relacionada a influência da Temperatura de Forno Frio e com as amplitudes térmicas a que os corpos estão sujeitos durante o seu tempo de residência nos moldes.

Estudo Laboratorial sobre os parâmetros de mistura e de reação

Os resultados obtidos suscitaram a incerteza da conclusão da reação de aglomeração. Um estudo laboratorial seria importante para aferir qual a influência de cada variável da mistura na reação de aglomeração, quais os reagentes limitantes e como obter uma reação de polimerização completa. Neste

estudo deveriam ser distinguidos os corpos provenientes dos dois processos de aglomeração e analisadas as diferenças entre si.

Manutenção Preventiva dos Moldes

A manutenção preventiva da moldadora é um especto fundamental para evitar avarias que ocasionam perdas de produção e obtenção de produtos não conformes (verificado através do estudo do Tempo de Residência).

Verificou-se que um dos aspetos mais importantes é a manutenção dos moldes com vista a evitar a produção de corpos com moldes desgastados. Esta situação afeta a qualidade dos corpos produzidos (possível causa dos topos enviesados), e os movimentos hidráulicos de prensagem e extração, podendo motivar por si só uma paragem da moldadora. Seria importante um estudo do tempo de vida dos moldes de forma a standardizar a manutenção preventiva dos mesmos.

Estudo da Influência da Temperatura Ambiente nas etapas do processo e no armazenamento de granulado

A temperatura ambiente tem uma influência significativa ao longo do processo de produção, existindo já especificações distintas para as estações Inverno e Verão em grande parte do mesmo. Seria importante um estudo sobre esta influência nas múltiplas etapas do processo de forma a caracterizar as suscetibilidades das mesmas e determinar ações apropriadas.

Um dos focos seria o impacto da temperatura ambiente na alteração das características do granulado, massa volúmica e humidade, mediante o método de armazenamento (big-bag ou silo). Seria particularmente importante caracterizar a variação de humidade do granulado em função da temperatura e do tempo, para os dois métodos de armazenamento (e se possível entre as várias fases dos processos de aglomeração, como por exemplo do Tegão de Alimentação para a fase de mistura).

Criação de plataforma para partilha de informação dos estudos realizados no contexto da Corticeira Amorim

Durante o estudo foi importante a partilha de informação e contacto com a Unidade Industrial- De Sousa. Sugere-se a criação de uma plataforma digital com vista à partilha e divulgação de informação dos trabalhos realizados entre as várias Unidades Industriais da Corticeira Amorim. Esta plataforma permitiria o acesso aos trabalhos realizados e potencializaria estudos posteriores.

10 Bibliografia

- Amorim, C. (2014, July). A Arte da Cortiça.
- Amorim, C. (2016). *Relatório e Contas 2016 - Corticeira Amorim S.G.P.S.,S.A.*
- Amorim, C. (2017). www.amorim.com. Retrieved from <http://www.amorim.com>
- APCOR. (2016). *Information Bureau | 2016 - Cortiça em Números.*
- APCOR. (2017). www.apcor.pt. Retrieved from <http://www.apcor.pt>
- Bordado, J. C. M. (2009). Produção Industrial de Poliuretanos - Colas de Poliuretano na Indústria de Cortiça. In IST/IBB/ICTPOL (Ed.), .
- Bugalho, J., & Caldeira, M. (2008). *From the Cork Oak to cork - A Sustainable System.*
- Castro, A., Sottomayor, M., Rodrigues, V., Silva, F., & Freitas, R. (2015). *Associação portuguesa da cortiça.*
- CIPR. (2013). *Confédération Européenne du Liège: Código Internacional das Práticas Rolheiras - versão 6.05.*
- Correia, A., & Oliveira, A. (2002). *Principais Espécies Florestais com Interesse para Portugal - Zonas de Influencia Mediterrânica.*
- Coutinho, F., & Delpech, M. (1999). Poliuretanos como Materiais de Revestimento de Superfície. *Polímeros: Ciencia E Tecnologia*, 41–48.
- Delgado, F. R. (2014). *Melhoria de um Processo Produtivo - O caso da Corticeira Amorim (Equipar).* Instituto Superior Técnico.
- Dinis, M. (2014). *Caso de Estudo : UI-Equipar. Procedimento de Amostragem de Aparas para Quantificação de 2,4,6-Tricloroanisol.* Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- EGITRON. (2008). *sector da cortiça | sector vitivinícola | fabricantes de garrafas* (Vol. 1.1.2).
- FEVICCOM. (2016). *Caracterização Económica e Social dos Sectores.*
- Fonseca, M. F. P. de. (2013). *2,4,6 – Tricloroanisol: validação do método de análise e estudos de adsorção e dessorção em rolhas de cortiça.* Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.
- Garcia, P. P. L. (2014). *Implementação da Metodologia Kaizen no entreposto de logística inversa da Worten.* Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- Gil, L. (2012). *Ciencia e Engenharia de Materiais de Construção - Cap. 13 Cortiça.*
- Gil, L. (2015). *A cortiça como material de construção - Manual Técnico* (APCOR - As).

- Gil, L. M. (1993). A Química da Cortiça : ponto da situação. *Química*.
- Gomes, A. R. (2015). *Caracterização do Fenómeno de Absorção de Líquidos em Rolhas Técnicas de Cortiça*. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- Isaksen, S. G. (1998). A Review of Brainstorming Research : Six Critical Issues for Inquiry.
- Júlio, S. R. C. (2016). *Avaliação de Variáveis que influenciam o Processo de Aglomeração de Rolhas Técnicas de Cortiça*. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's Quality Handbook*. (R. E. Hoogstoel & E. G. Schilling, Eds.) (Fifth Edit).
- Kloss, J. R. (2007). *Síntese e Caracterização de Poliuretanos Biodegradáveis à base de Poli(-caprolactona)diol*. Universidade Federal do Paraná.
- M.E.A. (2009). *Ecossistemas e Bem-Estar Humano - Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment*. (H. Pereira, T. Domingos, L. Vicente, & V. Proença, Eds.) (Escolar Ed).
- Marques, H. (2012). *Regiões de Proveniência, Portugal*.
- MEACCI. (2014). *Manual de Uso e Manutenção* (1st ed.).
- Mendes, A. C. (2002). A economia do Sector da Cortiça em Portugal. Evolução das actividades de produção e de transformação ao longo dos séculos XIX e XX.
- Monteiro, G. E. B. (2014). *Desenvolvimento de pré-polímeros para espumas monocomponente de poliuretano*. Instituto Superior Técnico.
- Moreira, L., Costa, V. A. F., & Silva, F. N. da. (2015). Effect of Moisture content on Curing Kinetics of Agglomerate Cork. *Journal of Materials and Design*, 1–5.
<http://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.01.001>
- Natividade, J. V. de. (1950). *Subericultura*. Ministério da Economi- Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas.
- Pereira, H. (1988). Chemical Composition and Variability of cork from *Quercus suber* L., 218, 211–218.
- Pereira, H., Melo, B., & Pinto, R. (1994). Yield and quality in the production of cork stoppers, 52, 5–6.
- Pereira, Z., & Requeijo, J. G. (2008). *Qualidade: Planeamento e Controlo Estatístico de Processos* (Coedição F). Caparica.
- Pinto, D. (2016). *Aplicação do Seis Sigma no Processo de Moldação da Indústria Corticeira*. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.

- Projecto de Resolução N.º 123/XII/1.ª. Projecto de Resolução N.º 123/XII/1.ª - Institui o Sobreiro como Árvore Nacional de Portugal (2011). Portugal.
- Salema. (2010). *O impacto da Crise Financeira de 2008 no Sector Corticeiro Portugues - Caso Corticeira Amorim*. Instituto Superior de Economia e Gestão - Universidade Técnica de Lisboa.
- Sharmin, E., & Zafar, F. (2012). Polyurethane : An Introduction, 3–16.
- Silva, M. E. C. M. da. (2010). *Apontamentos de Tecnologia dos Produtos Florestais - A cortiça, suas Características e Propriedades*. UTAD.
- Vilar, W. D. (2004). *prefacio @ www.poliuretanos.com.br* (3ª ed.).
- Vilela, C. M. T. (2015). *Análise crítica ao controlo de qualidade e estabilidade de Aglomerantes à base de poliuretano. II Desenvolvimento e investigação de um aglomerante à base de Polifenóis de Origem Vegetal para produção de rolhas aglomeradas*. Instituto Superior Técnico.
- Weiss, N. (2012). *Introductory Statistics*. (D. Lynch, Ed.) (9th Editio).
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *That Machine that changed the World*. Macmillan Publishing Company.

ANEXO A

Fundamentos de Qualidade

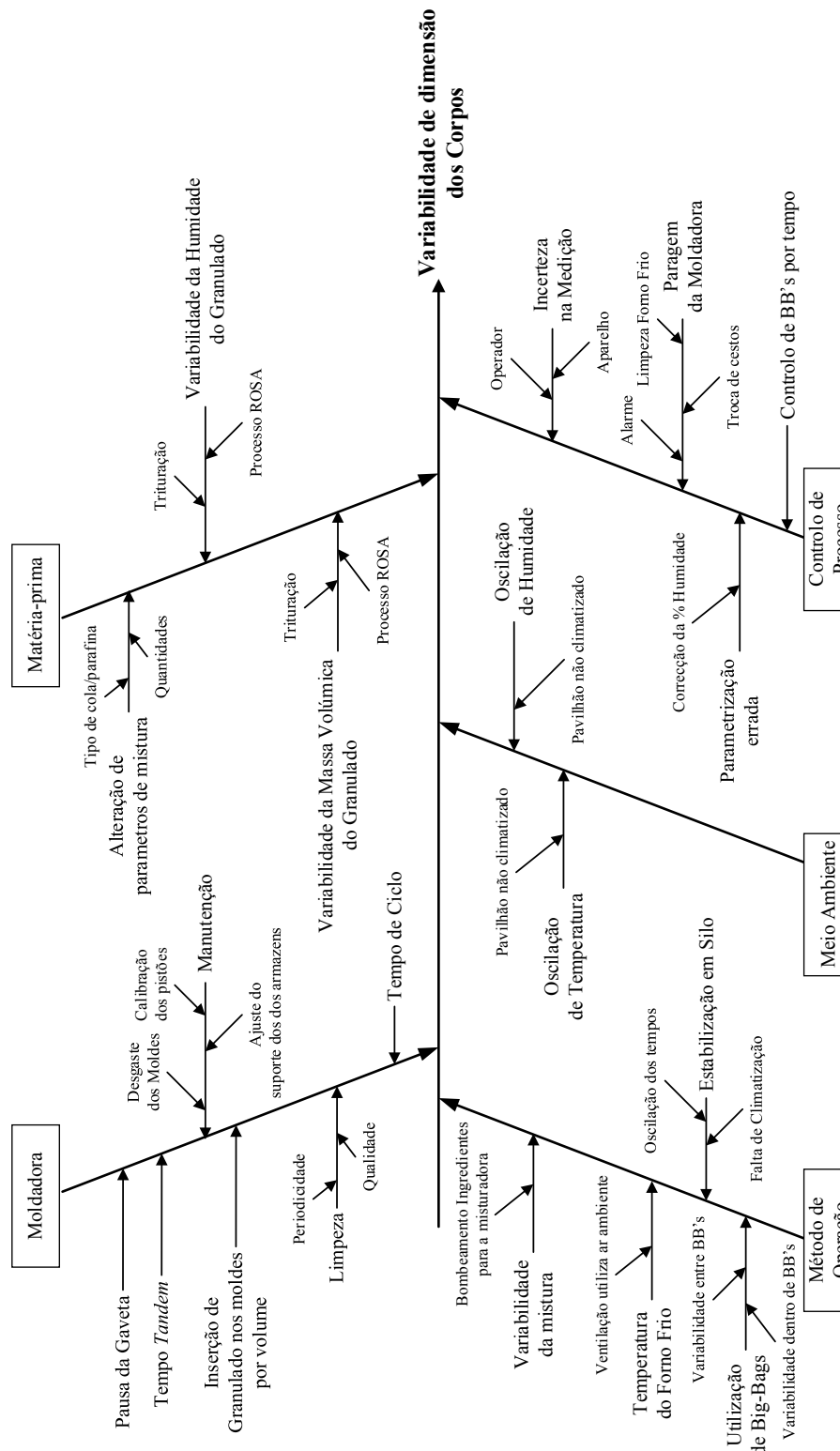


Figura A. 1 - Diagrama de Ishikawa: Variabilidade de dimensões dos Corpos

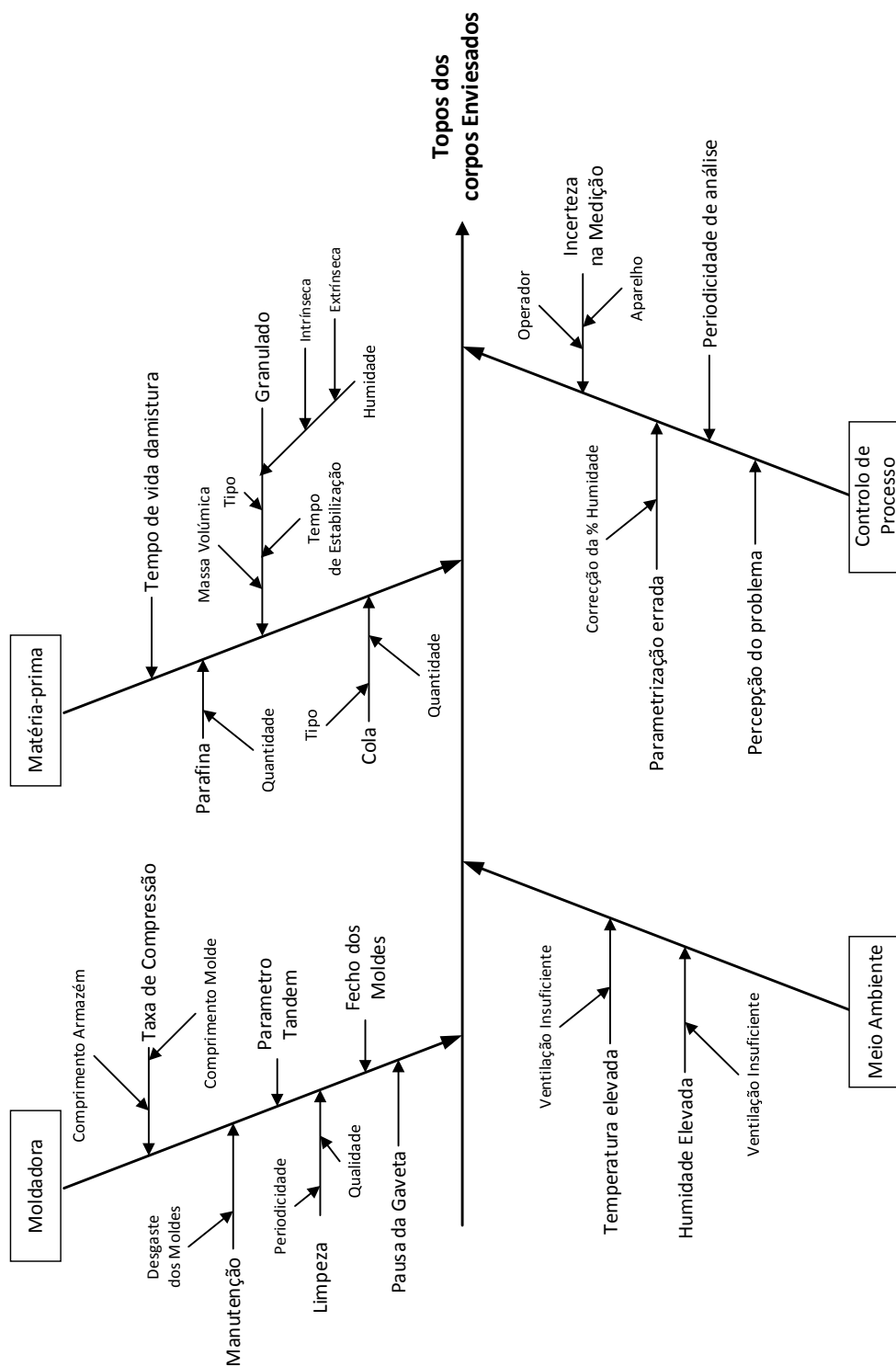


Figura A. 2 - Diagrama de Ishikawa: Topos dos Corpos Enviesados.

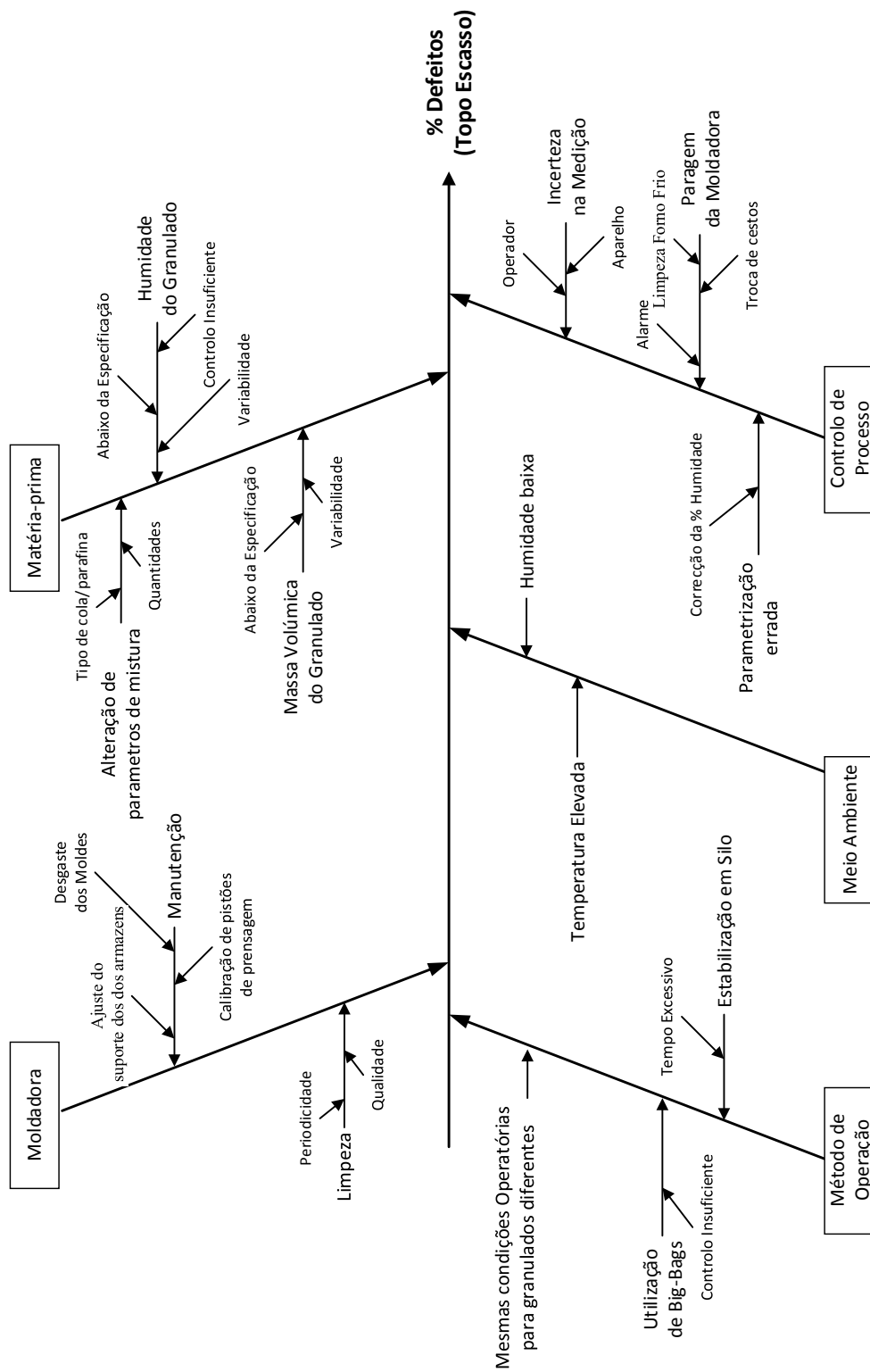


Figura A. 3 - Diagrama de Ishikawa: Defeitos de topo escasso.

*Tabela A. 1 - Influência das variáveis e condições operatórias do processo nas respostas dos corpos produzidos.
Tabela preenchida com auxílio de técnicas de Brainstorming.*

MOLDAÇÃO											
Aumenta ↗ Diminui ↘ 0-não afecta / amarelo-afecta pouco / vermelho-afecta / cinzento-afecta muito		RESPOSTA									
		Diametro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)	MV (kg/m3)	Humidade (%)	Absorção (%)	Flecha (mm)	Tensão Corte	Moldes Vazios (n°)	
V A R I Á V E L	% Cola	Aumento	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↗	↗	-
		Diminuição	↘	↘	↘	↗	↗	↗	↘	↘	-
	% Parafina	Aumento	↗	↗	0	↘	-	↘	-	-	-
		Diminuição	↘	↘	0	↗	-	↗	-	-	-
	MV granulado (kg/m3)	Aumento	↗	↗	↗	↘	0	↘	-	↗	↗
		Diminuição	↘	↘	↘	↗	0	↗	-	↘	↘
	Humidade granulado (%)	Aumento	↗	↗	↗	↘	↗	↗	↗	-	-
		Diminuição	↘	↘	↘	↗	↘	↘	↘	-	-
	Tempo de vida mistura (min)	Aumento	↗	↗	0	↗	↗	↗	↗	↘	↘
		Diminuição	↘	↘	0	↘	↘	↘	↘	↗	↗
	TFQ (°C)	Aumento	↗	↗	0	↘	↘	↗	↗	↘	-
		Diminuição	↘	↘	0	↗	↗	↘	↘	↗	-
	TFF (°C)	Aumento	↗	↗	0	↘	↘	↗	↗	↘	-
		Diminuição	↘	↘	0	↗	↗	↘	↘	↗	-
	Taxa de Compressão	Aumento	↗	↗	↗	↘	0	↘	↗	↗	↗
		Diminuição	↘	↘	↘	↗	0	↗	↘	↘	↘
	Tempo de Ciclo (s)	Aumento	↘	↘	0	↗	↘	↘	↘	-	-
		Diminuição	↗	↗	0	↘	↗	↗	↗	-	-
	Pausa Gaveta (s)	Aumento	↗	↗	↗	↘	0	↘	0	-	-
		Diminuição	↘	↘	↘	↗	0	↗	0	-	-
	Tempo de Permanencia Tandem (s)	Aumento	0	0	↗	0	0	0	↘	0	-
		Diminuição	0	0	↘	0	0	0	↗	0	-
	T Ambiente (°C)	Aumento	↘	↘	0	↘	↘	-	↗	-	-
		Diminuição	↗	↗	0	↗	↗	-	↘	-	-
	Humidade do ar (%)	Aumento	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↗	-	↗
		Diminuição	↘	↘	↘	↘	↘	↗	↘	-	↘

Tabela A. 2 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com paragem da Moldadora).

Nº	Descrição operação	Tempo
1	Recolher um cesto com empilhador e coloca-lo à saída da moldadora	x
2	Posicionar o empilhador para que esteja pronto para retirar o cesto cheio	00:00:15
3	Sair do empilhador e parar a moldadora	00:00:10
4	Retirar o cesto cheio com empilhador e colocar o cesto vazio por baixo da saída da girafa	00:00:40
5	Reiniciar a moldadora	00:00:05
	Tempo total	00:01:10

Tabela A. 3 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com paragem do movimento do tapete de extração).

Nº	Descrição operação	Tempo
1	Recolher um cesto com empilhador e colocar à saída da moldadora	x
2	Posicionar o empilhador para que esteja pronto para retirar o cesto cheio	00:00:15
3	Sair do empilhador e parar o movimento do tapete da girafa	00:00:10
4	Retirar o cesto cheio com empilhador e colocar o cesto vazio por baixo da saída da girafa	00:00:40
5	Reiniciar o movimento do tapete da girafa	00:00:05
	Tempo total	00:01:10

Tabela A. 4 - Standard Work: Procedimento de Troca de Cestos (com instalação de saída de girafa dupla)

Nº	Descrição operação	Tempo
1	Recolher um cesto com empilhador e colocar à saída da moldadora	x
2	Quando um dos cestos estiver cheio: alternar a saída da girafa	00:00:05
3	Retirar o cesto	00:00:15
4	Tempo total	00:00:20

ANEXO B

Dados Referentes aos Estudos Realizados

B 1-Estudo do Comportamento dos Corpos após Extração

B 1.1-Retração dos Corpos após Extração

Ensaio 1

Tabela B. 1 - Ensaio 1: Dados do Grupo 1-Moldação RA.

Moldação RA							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de m	Média de MV
0	20	42,40	27,10	0,13	8,67	6,43	263,0
1	20	42,29	27,05	0,15	8,20	6,42	264,3
2	20	42,25	27,00	0,12	8,26	6,42	265,4
3	20	42,21	26,98	0,10	8,01	6,40	265,4
4	20	42,15	26,97	0,11	7,83	6,40	265,9
5	20	42,13	26,91	0,09	7,79	6,39	266,7
24	20	42,10	26,85	0,02	7,01	6,39	267,9

Tabela B. 2 - Ensaio 1: Dados do Grupo 2-Moldação RA ROSA®.

Moldação RA ROSA®							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de m	Média de MV
0	20	42,842	27,236	0,157	10,7	6,56	262,9
1	20	42,685	27,1145	0,1285	10,595	6,56	262,9
2	20	42,626	27,097	0,0955	10,55	6,54	266,1
3	20	42,5375	27,0685	0,147	10,07	6,5275	266,7
4	20	42,535	27,046	0,110	10,175	6,515	266,7
5	20	42,495	27,000	0,121	9,715	6,507	267,5
24	20	42,316	26,913	0,125	7,300	6,467	268,7

Tabela B. 3 - Ensaio 1: Dados do Grupo 3-Extrusão RA.

Extrusão RA							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de m	Média de MV
0	20	40,24	25,74	0,02	7,20	6,38	305,0
1	20	40,19	25,69	0,02	7,09	6,38	305,9
2	20	40,16	25,71	0,02	7,13	6,37	305,7
3	20	40,13	25,67	0,02	7,11	6,36	306,5
4	20	40,11	25,66	0,02	7,09	6,36	306,6
5	20	40,07	25,65	0,02	6,91	6,35	306,5
24	20	39,93	25,53	0,03	5,60	6,33	309,8

Ensaio 2

Tabela B. 4 - Ensaio 2: Variáveis de entrada do granulado e condições de mistura.

Grupo		1	2	3
Processo		Moldação		Extrusão
Tipo		RA	RA ROSA®	
Granulado	Massa Volúmica / corrigida (kg/m ³)	68,1/67,8	73,4/70,8	68,8/69,6
	Humidade (%)	9,3	11	7
	Granulado (kg)	40	40	100
Mistura	Parafina (kg)	0,8	0,8	
	Cola (kg)	6	6	15
	Látex (kg)	-	-	1,7
	Humidade Alvo (%)	11	11	-
	Acerto de Humidade	2%	2%	-

Tabela B. 5 - Ensaio 2: Condições Operatórias de Moldação (Grupos 1 e 2).

Condições Operatórias Moldação (Moldadora 2-TT)		
Tipo de Granulado	RA	RA ROSA®
Temperatura Forno Quente (°C)	125	125
Temperatura Forno Frio (°C)	45,9	46,5
Tempo de ciclo (s)	9+	9+
Pausa da gaveta (s)	0,3	0,3
Tendo tandem (s)	0,1	0,1
Diâmetro de calço	26	26
Diâmetro de armazém	26	26
Diâmetro de molde	26	26
Comprimento de calço	5	5
Comprimento de armazém	148	148
Comprimento de calço +armazém	153	153
Comprimento de molde	37	37

Tabela B. 6 - Ensaio 2: Condições Operatórias do Grupo3-Extrusão RA.

Condições Operatórias Extrusão (Linha 1-AGLO)	
Tipo de Granulado	RA
Temperatura (°C)	120
Velocidade (Hz)	30
Diametro Tubo	25
Comprimento de corte	39,5

Tabela B. 7 - Ensaio 2: Dados do Grupo 1- Moldação RA.

Moldação RA							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
0	100	43,08	27,24	0,12	10,42	6,11	243,5
2	100	42,95	27,17	0,13	10,32	6,09	244,7
4	100	42,88	27,12	0,12	10,24	6,09	245,9
6	100	42,83	27,09	0,12	9,77	6,08	246,4
8	100	42,78	27,06	0,13	9,32	6,07	246,8
24	100	42,70	27,04	0,13	7,75	6,06	247,3

Tabela B. 8 - Ensaio 2: Dados do Grupo 2- Moldação RA ROSA®.

Moldação RA ROSA®							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
0	100	42,7623	27,1728	0,1396	10,652	6,5441	263,9736
2	100	42,59	27,0999	0,1241	10,508	6,5294	265,8653
4	100	42,5558	27,032	0,1169	10,22	6,5118	266,6959
6	100	42,4915	26,9854	0,1151	9,269	6,5014	267,5946
8	100	42,4249	26,9651	0,1132	8,71	6,4936	268,0917
24	100	42,3545	26,926	0,1178	7,354	6,4674	268,231

Tabela B. 9 - Ensaio 2: Dados do Grupo 3- Extrusão RA.

Extrusão RA							
Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
0	100	40,78	25,76	0,02	5,85	6,45	303,4
2	100	40,71	25,73	0,02	5,78	6,44	304,2
4	100	40,68	25,73	0,02	5,72	6,43	304,1
6	100	40,65	25,71	0,02	5,50	6,43	304,5
8	100	40,62	25,67	0,02	5,23	6,43	305,6
24	100	40,57	25,63	0,03	4,64	6,42	306,8

B 1.2-Influência da Temperatura Ambiente na Retração

Tabela B. 10 - Influência da Temperatura Ambiente na Retração. Dados do ensaio Turno 1.

Turno 1							
Tempo	n	Média e L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
0	100	40,78	26,79	0,19	10,64	6,11	265,9
4	100	40,56	26,68	0,17	8,74	6,08	268,2
8	100	40,55	26,68	0,17	9,02	6,06	267,6
24	100	40,42	26,59	0,18	7,37	6,03	268,7

Tabela B. 11 - Influência da Temperatura Ambiente na Retração. Dados do ensaio Turno 2.

Turno 2							
Tempo	n	Média e L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
0	100	41,59	26,92	0,12	8,98	6,30	266,2
4	100	41,33	26,80	0,11	7,33	6,26	268,6
8	100	41,22	26,74	0,10	6,99	6,23	269,3
24	100	41,15	26,71	0,11	5,79	6,22	269,7

B 1.3 – Análise da Variação de Massa Volúmica ao longo das etapas do processo

Tabela B. 12 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Retificação.

	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Antes de Retificação	300	41,94	26,83	0,12	8,85	6,53	275,3
Após Retificação	300	37,94	24,25	0,02	8,41	4,96	283,2

Tabela B. 13 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Lavação..

	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Antes Lavação.	50	37,88	24,13	0,03	6,23	4,86	280,8
Depois Lavação.	50	37,81	24,05	0,03	6,35	4,81	280,0

Tabela B. 14 - Dados da análise de variação de Massa Volúmica: Chanfro.

	n	Média de D	Média de Ovalidade	Média de Massa	Média de MV
Sem chanfro	70	23,18	0,04	4,93	307,1
Com chanfro	70	23,15	0,04	4,84	302,3

B 2-Estudo da Variabilidade de Massa

Tabela B. 15 - Estudo da Variabilidade de Massa: Dados Antes de Ação de Melhoria.

Antes de Ação de Melhoria							
Molde	n	FIM			INICIO		
		Mín de Massa	Média de Massa	Máx de Massa	Mín de Massa	Média de Massa	Máx de Massa
0					5,12	5,12	5,12
1	5	6,17	6,28	6,51	6,05	6,14	6,22
2	5	6,1	6,28	6,39	5,83	6,17	6,39
3	5	6,18	6,3	6,45	6,02	6,10	6,28
4	5	6,11	6,31	6,47	5,87	6,17	6,39
5	5	6,19	6,30	6,42	6	6,13	6,31
6	5	6,19	6,29	6,4	5,81	5,98	6,19
7	5	6,14	6,33	6,54	6,05	6,29	6,59
8	5	6,12	6,30	6,54	6,08	6,17	6,26
9	5	6,26	6,37	6,49	5,97	6,09	6,18
10	5	6,15	6,33	6,57	5,78	6,06	6,37
11	5	6,28	6,39	6,52	5,98	6,13	6,24
12	5	6,22	6,33	6,48	5,94	6,17	6,32
13	5	6,07	6,30	6,6	6,01	6,11	6,28
14	5	6,14	6,26	6,38	5,85	6,15	6,47
15	5	6,11	6,19	6,32	5,86	6,19	6,37
16	5	6,11	6,29	6,43	5,94	6,08	6,29
17	5	6,14	6,30	6,5	6,08	6,23	6,35
18	5	6,14	6,29	6,52	5,93	6,07	6,25
19	5	6,17	6,26	6,39	6	6,16	6,27
20	5	6,2	6,31	6,41	5,99	6,14	6,33

Tabela B. 16 - Estudo da Variabilidade de Massa: Dados Após Ação de Melhoria.

Após Ação de Melhoria							
Molde	n	FIM			INICIO		
		Mín de Massa	Média de Massa	Máx de Massa	Mín de Massa	Média de Massa	Máx de Massa
1	5	6,30	6,37	6,47	6,05	6,24	6,35
2	5	6,20	6,28	6,32	6,17	6,29	6,43
3	5	6,15	6,26	6,41	6,10	6,29	6,48
4	5	6,11	6,22	6,33	6,05	6,23	6,44
5	5	6,03	6,27	6,49	6,11	6,26	6,48
6	5	6,20	6,36	6,48	6,14	6,32	6,50
7	5	6,20	6,30	6,46	6,10	6,29	6,46
8	5	6,10	6,30	6,57	6,13	6,30	6,43
9	5	6,26	6,40	6,60	6,09	6,28	6,47
10	5	6,27	6,47	6,55	6,16	6,33	6,60
11	5	6,22	6,40	6,64	6,15	6,31	6,47
12	5	6,27	6,37	6,55	6,21	6,51	6,63
13	5	6,24	6,35	6,47	6,18	6,36	6,50
14	5	6,30	6,36	6,43	6,16	6,31	6,52
15	5	6,17	6,40	6,64	6,16	6,23	6,29
16	5	6,21	6,31	6,45	6,09	6,33	6,58
17	5	6,24	6,34	6,44	6,10	6,29	6,48
18	5	6,18	6,42	6,57	6,18	6,31	6,52
19	5	6,20	6,35	6,50	6,17	6,33	6,66
20	5	6,22	6,39	6,55	6,24	6,43	6,58

B 3-Estudo das Variáveis: Humidade Intrínseca e Humidade Extrínseca do granulado

Para as medições de humidade (n=10) e para as medições de absorção (n=50).

Tabela B. 17 - Estudo da Humidade. Condições Operatórias de Moldação.

Condições Operatórias Moldação (Moldadora 2-TT)	
Tipo de Granulado	RA S ROSA®
Temperatura Forno Quente (°C)	125
Temperatura Forno Frio (°C)	55
Tempo de ciclo (s)	9+
Pausa da gaveta (s)	0,3
Tendo tandem (s)	0,1
Diâmetro de calço	26
Diâmetro de armazém	26
Diâmetro de molde	26
Comprimento de calço	5
Comprimento de armazém	148
Comprimento de calço +armazém	153
Comprimento de molde	37
Volume do molde	19644

Tabela B. 18 – Estudo da Humidade. Dados da caracterização dos big-bags. Medições de Humidade e Massa Volúmica.

Replica	Posição	MV	MV corrigida	H
1	1.BAIXO	68,8	71,0	5,1
1	2.MEIO	70,7	72,0	6,3
1	3.CIMA	69,9	70,5	7,2
2	1.BAIXO	72,4	74,2	5,7
2	2.MEIO	70,6	71,6	6,6
2	3.CIMA	70,3	71,3	6,7
3	1.BAIXO	70,0	69,4	8,7
3	2.MEIO	70,7	71,7	6,7
3	3.CIMA	71,7	71,5	8,3
4	1.BAIXO	75,3	75,3	8,0
4	2.MEIO	76,1	75,9	8,3
4	3.CIMA	74,0	74,2	7,7
5	1.BAIXO	71,6	70,5	9,4
5	2.MEIO	72,9	72,8	8,1
5	3.CIMA	69,6	69,8	7,8
6	1.BAIXO	69,1	68,6	8,7
6	2.MEIO	72,5	72,0	8,6
6	3.CIMA	73,0	71,7	9,7

Tabela B. 19 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 1.

Réplica 1								
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV	Média de Absorção
Tempo 0								
+0	60	39,44	26,30	0,08	6,37	6,50	303,2	
+1	60	39,80	26,38	0,07	6,19	6,50	298,7	
+3	60	40,59	26,53	0,09	8,05	6,13	273,1	
+5	60	41,36	26,67	0,12	10,70	6,46	279,5	
Tempo 24								
+0	60	39,32	26,24	0,08	4,76	6,49	305,3	29,4%
+1	60	39,68	26,35	0,07	4,94	6,48	299,3	31,1%
+3	60	40,42	26,48	0,09	6,59	6,10	274,4	28,5%
+5	60	41,24	26,61	0,11	9,90	6,42	280,1	20,7%

Tabela B. 20 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 2.

Réplica 2								
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV	Média de Absorção
Tempo 0								
+0	60	40,54	26,63	0,15	8,78	6,54	289,6	
+1	60	40,82	26,76	0,14	8,91	6,40	278,9	
+3	60	40,85	26,59	0,10	10,70	6,52	287,6	
+5	60	41,41	26,77	0,11	10,70	6,34	272,0	
Tempo 24								
+0		40,33	26,55	0,13	6,08	6,51	291,8	32,3%
+1		40,63	26,63	0,11	6,51			31,3%
+3		40,69	26,53	0,09	8,67	6,48	288,1	28,5%
+5		41,27	26,72	0,16	10,65	6,34	274,3	30,0%

Tabela B. 21 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 3..

Réplica 3								
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV	Média de Absorção
Tempo 0								
+0	60	41,66	26,86	0,12	7,91	6,41	271,4	
+1	60	42,02	26,93	0,12	8,61	6,19	258,6	
+3	60	42,17	26,99	0,12	10,45	6,21	257,6	
+5	60	41,50	26,69	0,11	10,70	6,23	268,3	
Tempo 24								
+0	60	41,43	26,80	0,14	6,52	6,38	273,0	24,7%
+1	60	41,81	26,85	0,13	6,76	6,16	260,4	23,5%
+3	60	41,99	26,93	0,13	8,36	6,18	258,6	23,1%
+5	60	41,36	26,62	0,09	10,46	6,19	268,8	22,8%

Tabela B. 22 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 4..

Réplica 4								
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV	Média de Absorção
Tempo 0								
+0	60	42,42	27,00	0,10	9,04	6,74	277,5	
+1	60	42,14	26,85	0,10	9,15	6,76	283,5	
+3	60	42,58	26,97	0,12	10,70	6,59	270,8	
+5	60	42,32	26,90	0,12	10,70	6,44	267,7	
Tempo 24								
+0	60	42,21	26,92	0,12	6,97	6,72	279,7	19,4%
+1	60	41,97	26,80	0,10	7,66	6,74	284,7	23,7%
+3	60	42,38	26,90	0,13	10,05	6,57	273,0	24,6%
+5	60	42,16	26,83	0,11	10,70	6,41	269,0	20,2%

Tabela B. 23 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 5.

Réplica 5								
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV	Média de Absorção
Tempo 0								
+0	60	40,88	26,69	0,10	9,84	6,52	285,3	
+1	60	41,09	26,80	0,13	10,64	6,46	278,9	
+3	60	40,92	26,68	0,17	10,70	6,29	275,3	
+5	60	41,15	26,58	0,11	10,70	6,35	278,3	
Tempo 24								
+0	60	40,56	26,57	0,08	6,63	6,49	288,7	29,9%
+1	60	40,81	26,69	0,13	7,28	6,43	281,6	30,2%
+3	60	40,68	26,58	0,15	9,03	6,25	276,9	31,2%
+5	60	40,94	26,51	0,10	10,70	6,29	278,2	25,8%

Tabela B. 24 - Estudo da Humidade. Dados da Réplica 6..

Réplica 6							
Acerto	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
+0	60	40,31	26,49	0,07	10,41	6,40	288,1
+1	60	40,89	26,71	0,10	9,60	6,39	279,0
+3	60	41,34	26,86	0,13	10,70	6,18	263,8
+5	60	41,37	26,72	0,10	10,70	6,35	273,8
Tempo 24							
+0	60	40,06	26,39	0,08	6,83	6,38	291,2
+1	60	40,68	26,61	0,10	7,31	6,36	281,4
+3	60	41,11	26,75	0,12	9,91	6,14	265,8
+5	60	41,21	26,62	0,09	10,70	6,14	265,8

B 4-Estudo da Variável Temperatura da Reação

B 4.1-Estudo da Condição Operatória Temperatura de Forno Frio

Tabela B. 25 - Estudo da Temperatura de Reação. Dados do ciclo da moldadora.

Tempo (30s-30s)	Temperatura (°C)	
	sp FF 45°C	sp FF 60°C
1	74	87
2	80	90,5
3	84,5	94,5
4	87,5	97
5	90	98,5
6	93	100,5
7	94,5	102
8	96,5	103,5
9	98	104,5
10	99	105
11	100,5	106
12	101,5	107
13	103	107,5
14	104	108,5
15	105	109
16	105,5	109,5
17	106	110
18	106,5	110
19	106,5	110,5
20	106,5	110,5
21	107	110,5
22	107	110,5
23	107,5	111
24	107,5	111
25	107,5	111
26	108	111
27	108	111
28	108	111
29	107	110,5
30	105,5	109
31	104	107,5
32	103	106
33	100,5	105
34	98	104
35	93	103
36	89	100,5
37	86,5	98
38	84	95,5
39	82,5	93,5
40	81	92
41	80	90,5
42	79,5	89,5
43		89
44		85,5

Tabela B. 26 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Condições Operatórias de Moldação..

Condições Operatórias Moldação (Moldadora 2-TT)	
Tipo de Granulado	RA S ROSA®
Temperatura Forno Quente (°C)	125
Temperatura Forno Frio (°C)	x
Tempo de ciclo (s)	9+
Pausa da gaveta (s)	0,3
Tendo tandem (s)	0,1
Diâmetro de calço	26
Diâmetro de armazém	26
Diâmetro de molde	26
Comprimento de calço	5
Comprimento de armazém	148
Comprimento de calço +armazém	153
Comprimento de molde	37
Volume do molde	19644

Tabela B. 27 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Caracterização do big-bag. Medições de Humidade e Massa Volúmica.

POSI	MV	MV corrigida	H
CIMA	68,9	69,7	6,99
Meio	67,7	68,0	7,6
MEIO	69,5	69,7	7,77
BAIXO	72,1	71,7	8,51

Tabela B. 28 - Estudo da Condição operatória Forno Frio. Dados para os dois set-points testados.

Tempo	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Temperatura de Forno Frio: 45°C							
0	60	41,08	26,69	0,10	10,7	6,44	280,11
24	60	40,78	26,58	0,089	9,81	6,39	282,88
Temperatura de Forno Frio: 60°C							
0	60	41,77	26,83	0,081	10,7	6,29	266,15
24	60	41,47	26,70	0,096	8,46	6,24	268,65

B 5-Estudo da Variável Tempo de Residência

B 5.1-Paragem de 1 minuto (Troca de Cestos)

Tabela B. 29 - Paragem de 1 minuto. Dados da réplica 1.

Réplica 1							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	42,18	27,13	0,14	10,03	6,21	254,9
Fora dos Fornos Entrada	20	41,53	26,94	0,15	9,56	6,21	262,5
Forno Quente	20	41,55	26,83	0,13	9,77	6,32	269,2
Forno Frio Saída	20	41,14	26,76	0,11	9,78	6,24	269,6
Fora dos Fornos Saída	20	41,49	26,89	0,15	9,91	6,23	264,4
Tempo 24							
Controlo	20	41,97	27,00	0,14	7,74	6,18	257,4
Fora dos Fornos Entrada	20	41,32	26,81	0,15	7,66	6,17	264,5
Forno Quente	20	41,34	26,72	0,10	7,73	6,28	271,1
Forno Frio Saída	20	40,94	26,63	0,12	7,72	6,20	271,9
Fora dos Fornos Saída	20	41,31	26,76	0,17	7,88	6,19	266,6

Tabela B. 30 - Paragem de 1 minuto. Dados da Réplica 2.

Réplica 2							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	37,73	25,64	0,05	10,70	6,06	310,8
Fora dos Fornos Entrada	20	37,47	25,64	0,05	10,58	5,78	298,9
Forno Quente	20	39,58	26,16	0,12	10,70	5,99	281,7
Forno Frio Saída	20	37,40	25,61	0,06	10,66	6,05	314,2
Fora dos Fornos Saída	20	37,68	25,66	0,09	10,70	6,09	312,3
Tempo 24							
Controlo	20	37,75	25,59	0,05	9,71	6,01	309,7
Fora dos Fornos Entrada	20	37,48	25,59	0,05	8,12	5,73	297,4
Forno Quente	20	39,50	26,11	0,14	10,18	5,94	280,8
Forno Frio Saída	20	37,43	25,56	0,05	9,12	6,01	312,9
Fora dos Fornos Saída	20	37,71	25,61	0,05	10,01	6,04	311,0

Tabela B. 31 - Paragem de 1 minuto. Dados da Réplica 3.

Réplica 3							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	43,63	27,32	0,10	8,55	6,74	263,5
Fora dos Fornos Entrada	20	43,42	27,35	0,10	8,63	6,74	264,1
Forno Quente	20	43,76	27,50	0,16	8,30	6,79	261,2
Forno Frio Saída	20	42,87	27,20	0,13	9,15	6,82	273,8
Fora dos Fornos Saída	20	43,00	27,19	0,11	8,49	6,74	269,8
Tempo 24							
Controlo	20	43,32	27,21	0,10	6,38	6,69	265,6
Fora dos Fornos Entrada	20	43,11	27,18	0,12	6,26	6,69	267,4
Forno Quente	20	43,42	27,36	0,10	6,39	6,66	261,0
Forno Frio Saída	20	42,54	27,07	0,13	6,62	6,76	276,1
Fora dos Fornos Saída	20	42,71	27,03	0,11	6,49	6,68	272,5

B 5.2-Paragem de 5 minutos (Limpeza de Forno Frio)

Tabela B. 32 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 1.

Réplica 1							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	41,45	26,80	0,15	8,55	6,23	266,5
Fora dos Fornos Entrada	20	39,62	26,33	0,10	8,18	6,29	291,4
Forno Quente	20	40,92	26,71	0,11	8,08	6,30	274,9
Forno Frio Saída	20	39,18	26,22	0,08	8,47	6,23	294,6
Fora dos Fornos Saída	20	39,18	26,22	0,12	8,43	6,24	294,8
Tempo 24							
Controlo	20	41,28	26,70	0,12	7,19	6,20	268,5
Fora dos Fornos Entrada	20	39,50	26,29	0,13	7,06	6,26	291,9
Forno Quente	20	40,69	26,62	0,14	7,04	6,27	277,0
Forno Frio Saída	20	39,03	26,14	0,06	7,13	6,20	296,0
Fora dos Fornos Saída	20	39,00	26,14	0,15	7,33	6,20	296,0

Tabela B. 33 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 2..

Réplica 2							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	41,85	26,78	0,09	10,69	6,32	268,2
Fora dos Fornos Entrada	20	41,09	26,50	0,13	10,45	6,30	278,1
Forno Quente	20	40,73	26,47	0,11	10,16	6,32	282,2
Forno Frio Saída	20	40,73	26,94	0,15	10,67	6,37	274,7
Fora dos Fornos Saída	20	40,52	26,88	0,14	10,70	6,42	279,4
Tempo 24							
Controlo	20	41,64	26,68	0,11	9,36	6,30	270,8
Fora dos Fornos Entrada	20	41,03	26,44	0,10	8,82	6,26	277,8
Forno Quente	20	40,63	26,41	0,13	8,39	6,29	282,7
Forno Frio Saída	20	40,49	26,79	0,12	9,98	6,34	277,8
Fora dos Fornos Saída	20	40,29	26,74	0,15	10,20	6,35	281,5

Tabela B. 34 - Paragem de 5 minutos. Dados da Réplica 3.

Réplica 3							
Zona da Moldadora	n	Média de L	Média de D	Média de Ovalidade	Média de H	Média de Massa	Média de MV
Tempo 0							
Controlo	20	43,43	27,31	0,12	8,16	6,76	265,7
Fora dos Fornos Entrada	20	41,63	26,82	0,11	7,91	6,66	283,3
Forno Quente	20	43,21	27,37	0,12	7,89	6,73	264,7
Forno Frio Saída	20	42,01	27,00	0,09	8,78	6,76	280,9
Fora dos Fornos Saída	20	41,89	27,13	0,17	8,68	6,75	278,9
Tempo 24							
Controlo	20	43,15	27,15	0,15	6,12	6,72	269,1
Fora dos Fornos Entrada	20	41,36	26,68	0,09	5,96	6,62	286,4
Forno Quente	20	42,94	27,23	0,13	5,90	6,68	267,3
Forno Frio Saída	20	41,68	26,88	0,12	6,34	6,71	283,6
Fora dos Fornos Saída	20	41,60	26,97	0,17	6,43	6,71	282,3

LOMBADA



Moldação de Rolhas Técnicas de Cortiça: Redução de Variabilidade e Comparação com o
Processo de Extrusão

2017